

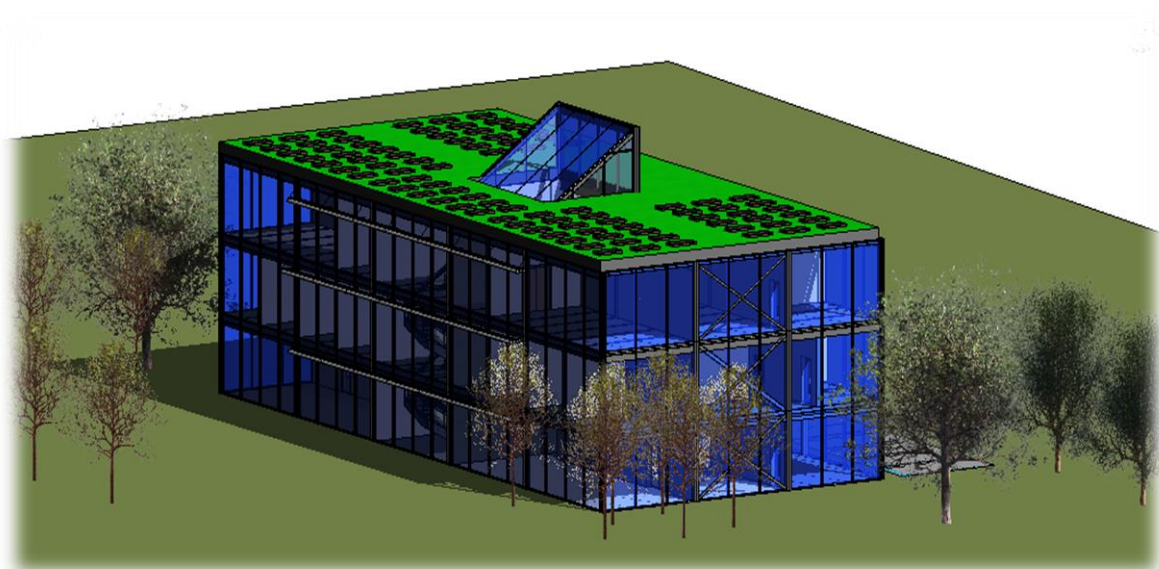


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Σχεδιασμός Ενεργειακά Αποδοτικού Κτιρίου Γραφείων



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΥΡΙΑΚΗ ΓΕΜΕΛΟΥ

Επιβλέπων: Παύλος Θανόπουλος

Αθήνα, Οκτώβριος 2019

ΕΜΚ ΔΕ 2019/17

Γεμέλου Κυριακή (2019).
Σχεδιασμός Ενεργειακά Αποδοτικού Κτιρίου Γραφείων
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2019/17
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Gemelou Kyriaki (2019).
Design of Energy Efficient Office Building
Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2019/17
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	3
Abstract	5
Ευχαριστίες	6
Αφιέρωση	7
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1 Γενικά.....	9
1.1.1 Περιγραφή Ενεργειακού Ζητήματος.....	9
1.2 Ενεργειακά Δεδομένα - ΕΥΡΩΠΗ.....	9
1.2.1 Γενικά.....	9
1.2.2 Κτιριακός Τομέας	10
1.2.3 Ευρωπαϊκή Πολιτική & Στόχοι –Ορισμός nZEB.....	12
1.3 Ενεργειακά Δεδομένα – ΕΛΛΑΔΑ	14
1.3.1 Γενικά.....	14
1.3.2 Κ.Εν.Α.Κ. & Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ).....	14
1.3.3 «Εθνικό Σχέδιο Αύξησης του Αριθμού Κτιρίων με Σχεδόν Μηδενική Κατανάλωση Ενέργειας».....	16
1.3.4 Κτιριακός Τομέας & Κτίρια Γραφείων.....	17
1.3.5 Περιβαλλοντική Πιστοποίηση LEED	20
2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ.....	21
2.1 ΓΕΝΙΚΑ	21
2.2 Τεχνικές Εξοικονόμησης Ενέργειας.....	21
2.2.1 Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική	21
2.2.2 Κέλυφος	23
2.2.3 Ενεργειακές & Παθητικές Τεχνικές.....	27
2.3 Ενσωμάτωση Α.Π.Ε. στα Κτίρια	32
2.3.1 Ηλιακά Συστήματα Ψύξης/Θέρμανσης & παραγωγής ZNX	32
2.3.2 Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού-Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ)	37
2.3.3 Βιομάζα & Τηλεθέρμανση.....	37
2.3.4 Αιολική Ενέργεια	38
2.3.5 Ολοκληρωμένο Σύστημα Κλιματισμού VRV	39
2.3.6 Γεωθερμία & Αντλίες Θερμότητας.....	41
3 ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΓΡΑΦΕΙΩΝ.....	43
3.1 Γενικά Χαρακτηριστικά	43
3.1.1 Περιγραφή.....	43
3.1.2 Φέρων Οργανισμός	44
3.2 Υλικά.....	48
3.2.1 Δομικός Χάλυβας.....	48
3.2.2 Σκυρόδεμα.....	48
3.2.3 Χάλυβας οπλισμού.....	48
3.2.4 Σύστημα Υαλοπετάσματος υψηλής ενεργειακής απόδοσης	48
3.2.5 Υλικά Φυτεμένου Δώματος	49
3.3 Δράσεις Σχεδιασμού.....	49
3.3.1 Μόνιμες Δράσεις.....	49
3.3.2 Μεταβλητές Δράσεις.....	50
3.3.3 Δράσεις Χιονιού.....	50
3.3.4 Δράσεις Ανέμου	53

3.3.5	Σεισμικές Δράσεις.....	64
3.4	Συνδυασμοί Δράσεων.....	68
4	ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΟΡΕΑ ΥΠΟ ΣΤΑΤΙΚΟΥΣ ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΥΣ	71
4.1	Διαστασιολόγηση Σύμμικτης Πλάκας.....	71
4.1.1	Φάση Κατασκευής	73
4.1.2	Φάση Λειτουργίας.....	74
4.2	Διατμητικοί Ήλοι	75
4.3	Διαστασιολόγηση Σύμμικτων Δοκών και Διαδοκίδων	76
4.3.1	Έλεγχος Τυπικής διαδοκίδας 3 ^{ου} ορόφου.....	76
4.4	Διαστασιολόγηση Κύριων Δοκών- Υποστυλωμάτων & Συνδέσμων Δυσκαμψίας.....	83
4.4.1	Κύριες Δοκοί κατά Χ (Δοκοί Πλαισίων Ροπής).....	83
4.4.2	Υποστυλώματα.....	86
4.4.3	Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας.....	89
4.4.4	Συμπεράσματα.....	91
5	ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΟΡΕΑ ΥΠΟ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥΣ ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΥΣ ...	92
5.1	Γενικά.....	92
5.2	Έλεγχος Πλαισίων με Κεντρικούς Συνδέσμους Δυσκαμψίας (Σεισμός κατά Υ).....	95
5.2.1	Περιορισμός φαινομένων 2ης τάξης	95
5.2.2	Έλεγχος διαγώνιων συνδέσμων δυσκαμψίας.....	97
5.2.3	Ικανοτικός έλεγχος υποστυλωμάτων	98
5.2.4	Περιορισμός Βλαβών	100
5.3	Έλεγχος Πλαισίων Ροπής (Σεισμός κατά Χ).....	100
5.3.1	Περιορισμός φαινομένων 2ης τάξης	100
5.3.2	Ικανοτικός Έλεγχος Δοκών.....	102
5.3.3	Ικανοτικός έλεγχος κόμβων	104
5.3.4	Ικανοτικός έλεγχος υποστυλωμάτων	105
5.3.5	Περιορισμός Βλαβών	107
5.3.6	Συμπεράσματα.....	107
6	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ	109
6.1	Λογισμικά Ενεργειακής Προσομοίωσης & Επιλογή Προγραμμάτων.....	109
6.2	Ενεργειακή Προσομοίωση κτιρίου στο Revit	110
6.2.1	Γενικά.....	110
6.2.2	Αρχιτεκτονικός Σχεδιασμός Κτιρίου στο λογισμικό Revit	111
6.2.3	Καθορισμός Προσανατολισμού Κτιρίου-Γεωγραφικής Τοποθεσίας.....	113
6.2.4	Καθορισμός Ενεργειακών Παραμέτρων	115
6.3	Ενεργειακή Ανάλυση μέσω της πλατφόρμας Insight 360.....	118
6.4	Σύγκριση Σεναρίων Ενεργειακής Αναβάθμισης	126
6.5	Ενεργειακό Κόστος	127
6.6	Συμπεράσματα Ενεργειακής Ανάλυσης.....	128
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	129
8	Βιβλιογραφία	130
	Παράρτημα Όψεις Κτιρίου Γραφείων.....	132

Σχεδιασμός Ενεργειακού Μεταλλικού Κτιρίου Γραφείων

Γεμέλου Κυριακή (Επιβλέπων: Θανόπουλος Π.)

Περίληψη

Στη σημερινή εποχή η ανεξέλεγκτη κατανάλωση ενέργειας, λόγω της συνεχούς τεχνολογικής ανάπτυξης, αλλά και η αλόγιστη χρήση των φυσικών πόρων της γης, έχουν συντελέσει σημαντικά στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Απαιτείται, λοιπόν, η στροφή σε νέες μορφές ενέργειας, φιλικότερες προς το περιβάλλον, που θα βοηθήσουν στην αντιμετώπιση της ολοένα και αυξανόμενης κλιματικής αλλαγής. Στον κτιριακό τομέα, ειδικότερα, τίθενται σημαντικές προκλήσεις, όσον αφορά την μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων, με την προώθηση ήπιων μορφών ενέργειας και την εφαρμογή των απαραίτητων δράσεων που θα οδηγήσουν σε ενεργειακά αυτόνομες κατασκευές. Στην παρούσα διπλωματική, αφού αρχικά αναλυθούν οι αρχές και πρακτικές ενός βιοκλιματικού σχεδιασμού, πραγματοποιείται η διαστασιολόγηση ενός Νέου Μεταλλικού Κτιρίου Γραφείων, καθώς και η εκτίμηση της ενεργειακής του συμπεριφοράς. Πιο αναλυτικά:

Στο 1ο Κεφάλαιο γίνεται μια παρουσίαση του ενεργειακού ζητήματος στη σημερινή εποχή, με έμφαση στον κτιριακό τομέα.

Στο 2ο Κεφάλαιο αναλύονται εκτενέστερα οι βασικές αρχές ενός Βιοκλιματικού Σχεδιασμού, με σκοπό τη μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων των κτιρίων. Εν συνεχεία, αναπτύσσονται οι μέθοδοι αύξησης της παραγόμενης ενέργειάς τους μέσω της χρήσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

Στο 3ο Κεφάλαιο γίνεται τεχνική περιγραφή του Κτιρίου Γραφείων που θα σχεδιαστεί. Αναλύονται τα αρχιτεκτονικά, κατασκευαστικά και λοιπά στοιχεία κελύφους του και τέλος υπολογίζονται τα φορτία και οι συνδυασμοί φόρτισης της κατασκευής.

Στο 4^ο Κεφάλαιο γίνεται προσομοίωση της κατασκευής στο λογισμικό Robot Structural Analysis και ακολουθεί η ανάλυση και διαστασιολόγησή του υπό στατικούς συνδυασμούς φόρτισης.

Στο 5ο Κεφάλαιο δίνεται η ανάλυση και διαστασιολόγηση της κατασκευής για σεισμικούς συνδυασμούς, οπότε προκύπτουν και οι τελικές διατομές.

Στο 6ο Κεφάλαιο, πραγματοποιείται η ενεργειακή ανάλυση μέσω της πλατφόρμας Insight του σχεδιαστικού προγράμματος Revit της Autodesk και παρατίθενται ορισμένες προτάσεις για μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων.

Στο 7^ο Κεφάλαιο πραγματοποιείται μια συνολική ανασκόπηση της εργασίας όπου εξάγονται και τα τελικά συμπεράσματα.

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STEEL STRUCTURES

DIPLOMA THESIS
EMK ΔΕ 2019/17

Design of Energy Efficient Office Building

Gemelou Kyriaki (supervised by Thanopoulos P.)

Abstract

In today's era of uncontrolled energy consumption, due to the continuous technological development, and the reckless use of the natural resources of the earth, have both significantly contributed to the degradation of the environment. It is, therefore, necessary to shift to new forms of energy, more environmentally friendly, which will help to tackle ever-intensifying climate change. In the building sector, in particular, significant challenges are posed, in terms of reducing energy requirements, by promoting soft energies and implementing the necessary actions that will lead to energy autonomous buildings.

In this diploma thesis, after first analyzing the principles and practices of a bioclimatic design, the design of a new steel office building is carried out, in accordance with the Eurocodes, as well as the estimation of its energy behavior. The outline of the thesis is as follows:

Chapter 1 is a presentation of the energy issue in the current era, with emphasis on the building sector.

The Second Chapter elaborates on the basic principles of a bioclimatic design in order to reduce the energy requirements of buildings. Subsequently, the methods of increasing their energy output are developed through the use of renewable energy resources.

In the Third Chapter, a technical description of the Office Building to be designed is given. The architectural, construction and other components of the shell are analyzed and finally the loads and the charging combinations of the construction are introduced.

In the Forth Chapter, the structure is simulated in Robot Structural Analysis where the static dimensioning process of the members is described analytically.

In the Fifth Chapter, the analysis and dimensioning of the construction for seismic combinations is given, along with the final geometry of the structure.

In the Sixth Chapter, energy analysis is carried out through the Insight platform of Autodesk's Revit design program and is used to analyze various models of the building in terms of its energy needs. Lastly, the results are compared both in energy and economic terms and the final proposals are formulated.

In the Seventh Chapter a comprehensive review of the diploma thesis is carried out, and the final conclusions are drawn.

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Θανόπουλο Παύλο, Λέκτορα του τομέα Δομοστατικής στο Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών της σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η βοήθεια και καθοδήγησή του ήταν πολύτιμη, σε όλη τη διάρκεια διαμόρφωσης αυτής της εργασίας, όπως επίσης και η ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον και σημαντικό για την εποχή μας θέμα.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω όλη μου την οικογένεια για την υποστήριξη σε όλη τη διάρκεια των ακαδημαϊκών σπουδών μου. Το μεγαλύτερο ευχαριστώ ανήκει στους γονείς μου, Γιάννη και Αθανασία, για την αμέριστη οικονομική και συναισθηματική τους βοήθεια όλα αυτά τα χρόνια, όπως και στην αδερφή μου Χριστίνα και τη γιαγιά μου Βικτωρία που είναι πάντα δίπλα μου να με στηρίζουν.

Τέλος, ευχαριστώ όλους μου τους φίλους και ειδικά την Έλενα, την Εύη και τη Χριστίνα για τη βοήθεια και συμπαράστασή τους. Ιδιαίτέρως ευχαριστώ και το φίλο μου Βαγγέλη για τη βοήθειά του σε όλα τα χρόνια των σπουδών μας, έως και το πέρας αυτής της εργασίας.

*Αφιερωμένη στον αγαπημένο
μου παππού,
Δρ. Χρήστο Κουρτέση*

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

1.1.1 Περιγραφή Ενεργειακού Ζητήματος

Τα τελευταία χρόνια, η έκρηξη των τεχνολογιών και η αλόγιστη ανάπτυξη των βιομηχανιών έχουν θέσει, όσο ποτέ άλλοτε, ορατό τον κίνδυνο καταστροφής του περιβάλλοντος. Οι αλληπάλληλες κρίσεις –ενεργειακή, χρηματοπιστωτική, κοινωνική- εντείνονται ενώ παράλληλα εξελίσσεται και η περιβαλλοντική κρίση. Ο άνθρωπος, θέλοντας να εναρμονιστεί με τους σύγχρονους ρυθμούς ανάπτυξης και για να βελτιώσει το βιοτικό του επίπεδο, συντέλεσε σημαντικά στη διαταραχή της ισορροπίας του παγκόσμιου οικοσυστήματος, καθώς απαιτείται, πλέον, μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας για να καλυφθούν οι ανάγκες του. Άμεσο αποτέλεσμα αυτής της υπερκατανάλωσης των ενεργειακών και φυσικών πόρων αποτελεί ο περιορισμός των ενεργειακών αποθεμάτων.

Για να αντισταθμιστεί, λοιπόν, η κατάσταση αυτή κρίνεται επιτακτική η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας και λήψη μέτρων για την προστασία του περιβάλλοντος. Αυτό, μπορεί να επιτευχθεί, σε πρώτο στάδιο, μέσω της ανάλυσης της ενεργειακής ζήτησης σε επιμέρους τομείς (βιομηχανία, logistics, κατασκευαστικός κλάδος) ώστε να εντοπιστούν οι βέλτιστες πολιτικές και μέθοδοι για εξοικονόμηση ενέργειας σε κάθε κλάδο, και σε δεύτερο στάδιο με τη θέσπιση νομοθετικών πλαισίων και προώθηση χρηματοδοτικών προγραμμάτων που θα συνεισφέρουν στην υποκατάσταση των ορυκτών καυσίμων από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) και την στροφή προς ένα νέο πρότυπο Πράσινης Ανάπτυξης.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εμβάθυνση στο νέο αυτό μοντέλο αειφορίας, στα πλαίσια της κατασκευής ενός Νέου Κτιρίου Γραφείων, αποτελούμενο από υλικά φιλικά προς το περιβάλλον, όπως ο χάλυβας, και σχεδιασμένο με τις κατάλληλες ενεργειακές τεχνικές και παρεμβάσεις προκειμένου να εναρμονίζεται με τα πρότυπα κτιρίων μηδενικών ενεργειακών εκπομπών.

1.2 Ενεργειακά Δεδομένα - ΕΥΡΩΠΗ

1.2.1 Γενικά

Το διοξείδιο του άνθρακα θεωρείται υπεύθυνο για το 60% της υπερθέρμανσης του πλανήτη, με την ανθρώπινη δραστηριότητα να συμβάλλει σημαντικά στην αύξηση αυτή. Οι συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα έχουν αυξηθεί κατά 40% , από την αρχή της εκβιομηχάνισης έως και σήμερα , επιβαρύνοντας έτσι την ατμόσφαιρα με έξι δισεκατομμύρια τόνους CO₂ ετησίως. Σε ότι αφορά το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το διοξείδιο του άνθρακα συμμετέχει συνολικά κατά 80%, το μεθάνιο κατά 10%, και το υποξείδιο του αζώτου περίπου 6%. όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.1. Όλα τα παραπάνω έχουν άμεσο επακόλουθο από την αύξηση της θερμοκρασίας και τη συχνότερη εμφάνιση πλημμυρών, έως και την άνοδο της στάθμης της θάλασσας, σαν αποτέλεσμα της τήξης των πολικών παγετών.

ΟΙ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΕ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ



Σχήμα 1.1: Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που παράχθηκαν το 2015 στην ΕΕ και τα ποσοστά τους

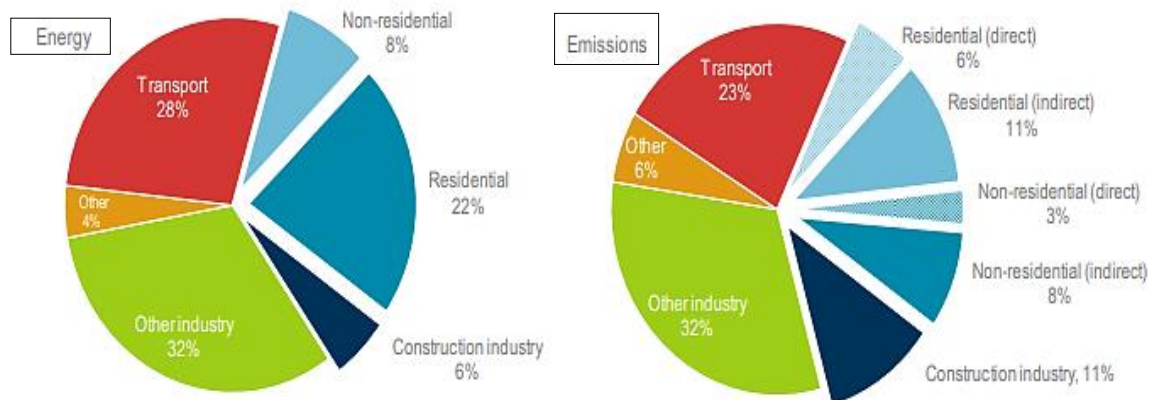
(Πηγή: <https://www.europarl.europa.eu/portal/en>)

Είναι, λοιπόν, κατανοητό πως βασική προτεραιότητα για τη διατήρηση της κλιματικής ισορροπίας του πλανήτη, είναι η άμεση απεξάρτηση από το πετρέλαιο και τον άνθρακα, όχι μόνο λόγω της συνεχιζόμενης αύξησης των τιμών τους, όσο και λόγω μείωσης των αποθεμάτων. Η παραπάνω ανάγκη απεξάρτησης από εχθρικά προς το περιβάλλον υλικά και πόρους, σημειώνεται και στον κτιριακό τομέα, όπου η αυξανόμενη χρήση ορυκτών υλικών και συσκευών έχουν συντελέσει σημαντικά στην εμφάνιση περιβαλλοντικών και ενεργειακών προβλημάτων.

1.2.2 Κτιριακός Τομέας

Τα κτίρια στην ΕΕ αποτελούν ένα μεγάλο ενεργειακό καταναλωτή, καθώς ευθύνονται για το 36% περίπου της κατανάλωσης ενέργειας και το 40% των εκπομπών CO₂, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.2. Ταυτόχρονα, όμως, έχουν όμως υψηλό δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας και με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών και οικονομικά αποτελεσματικών τεχνολογιών δύναται να βελτιωθεί σημαντικά η ενεργειακή αποδοτικότητά τους με αντίστοιχα περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη. Με τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, θα μπορούσε να μειωθεί η ενεργειακή κατανάλωση στην ΕΕ από 5% έως 6% καθώς και να μειωθούν οι εκπομπές CO₂ κατά περίπου 5%, σύμφωνα με στοιχεία της Ε.Ε.

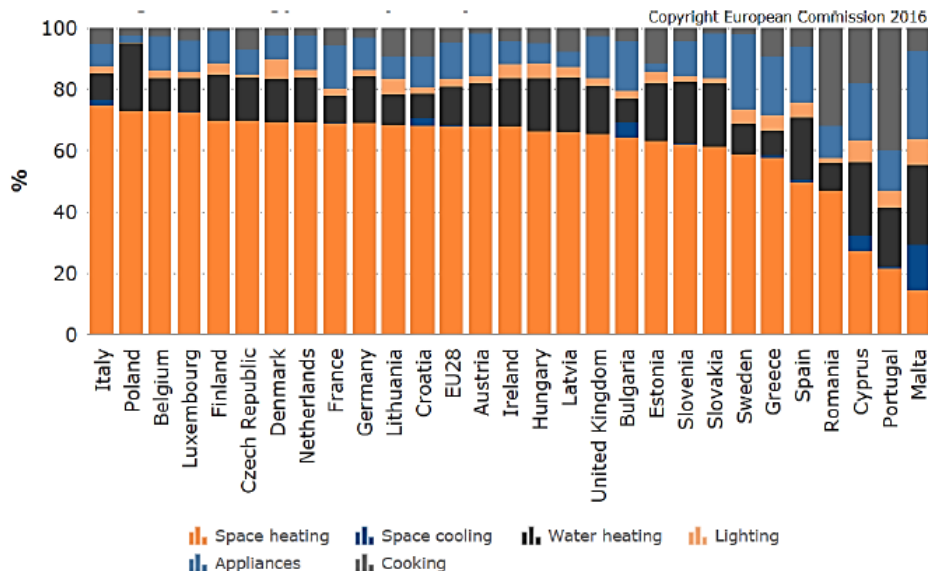
[Πηγή: <https://ec.europa.eu/energy/en>]



Σχήμα 1.2: Κατανομή παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπών CO₂ αντίστοιχα για 2017
(Πηγή: [Global Alliance for Buildings And Construction](https://www.globalallianceforbuildingsandconstruction.org/), 2017)

Όσον αφορά στην κατανομή της ενέργειας τελικής χρήσης στις κατοικίες στην ΕΕ, παρατηρείται ότι:

- ✓ η θέρμανση των χώρων, κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό (68%) της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας,
- ✓ η θέρμανση του νερού κατέχει τη δεύτερη θέση με μερίδιο (13%),
- ✓ η κατανάλωση των ηλεκτρικών συσκευών αντιπροσωπεύει το 12% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας,
- ✓ το μαγείρεμα αντιπροσωπεύει το 5% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας και ο φωτισμός μόλις 2%.

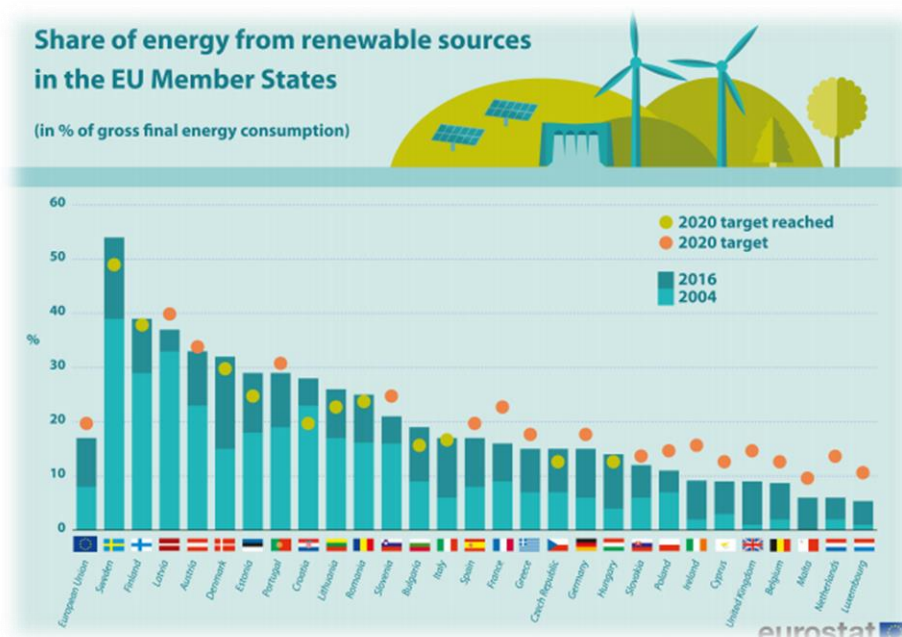


Σχήμα 1.3: Ενέργεια τελικής χρήσης στις κατοικίες στην Ευρώπη για το έτος 2016
(Πηγή: <https://ec.europa.eu/eurostat>)

1.2.3 Ευρωπαϊκή Πολιτική & Στόχοι –Ορισμός nZEB

Στην προσπάθειά τους για εξοικονόμηση ενέργειας και προώθηση χρήσης ΑΠΕ έναντι των συμβατικών καυσίμων στις κατασκευές, οι χώρες της Ε.Ε έχουν αναπτύξει, την τελευταία ειδικά δεκαετία, αξιοσημείωτες πρωτοβουλίες για την ελαχιστοποίηση των ενεργειακών αναγκών, αλλά και για την χρησιμοποίηση συστημάτων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για παραγωγή της απαραίτητης ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως προκύπτει, ενδεικτικά, και από την «Εκθεση προόδου για την ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές» στην "ΕΕ των 28", το μερίδιο της ενεργειακής κατανάλωσης από ανανεώσιμες πηγές αυξήθηκε από 8,5% το 2004 σε 16,7% το 2015, ενώ ο στόχος που πρέπει να επιτευχθεί έως το 2020 είναι 20%.

(πηγή: <https://ec.europa.eu/rep/1/2017>)



Σχήμα 1.4: Μερίδια των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας κάθε κράτους μέλους της Ε.Ε.

(Πηγή: <https://ec.europa.eu/eurostat>)

Παράλληλα, στη Πράσινη Βίβλο που εκδόθηκε το 2013 από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή με θέμα: «Πλαίσιο για τις πολιτικές που αφορούν το κλίμα και την ενέργεια με χρονικό ορίζοντα το έτος 2030», αναφέρεται ότι:

- ▶ Οι στόχοι για το 2030 εξειδικεύονται στη:
 - Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 40%
 - Άντληση τουλάχιστον του 27% της ενέργειας στην ΕΕ από ανανεώσιμες πηγές
 - Αύξηση της ενεργειακής απόδοσης κατά 27-30%
 - Διασύνδεση της ενέργειας σε ποσοστό 15%
- ▶ Για το 2050 στόχος αποτελεί ο παρακάτω:
 - Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 80-95% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990.

(Πηγή: <https://ec.europa.eu>)

Στη συνέχεια γίνεται μια σύντομη παράθεση των βασικών Ευρωπαϊκών Οδηγιών που έχουν θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και αφορούν στην ενεργειακή απόδοση:

- ▶ **Οδηγία 2002/91**, για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Αναφέρεται στην ορθολογική χρήση ενέργειας στα κτίρια. Καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση, ζεστό νερό χρήσης (ZNX), ψύξη, αερισμό, φωτισμό για υφιστάμενα και νέα κτίρια. Αφορά σε κατοικίες και τριτογενή τομέα (γραφεία, δημόσια κτίρια κ.λπ.).
- ▶ **Οδηγία 2006/32/ΕΚ**, για την ενεργειακή απόδοση κατά την τελική χρήση και τις ενεργειακές υπηρεσίες. Σκοπός της οδηγίας είναι να ενισχυθεί η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά την τελική χρήση. Θέτει το νομικό πλαίσιο, καθώς και ενδεικτικά οικονομικά μέτρα και κίνητρα για την αποτελεσματική χρήση ενέργειας.
- ▶ **Οδηγία 2010/31/ΕΕ**, για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Αποτελεί αναδιατύπωση της Οδηγίας 2002/91/ΕΚ και είναι η κύρια νομοθετική πράξη σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων στην Ευρώπη. Αναφέρεται σε κοινή μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων σε εθνικό ή περιφερειακό επίπεδο. Αναφέρεται επίσης στον καθορισμό των ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης, που πρέπει να εμφανίζει ένα κτίριο, ώστε να επιτευχθεί το βέλτιστο επίπεδο από πλευρά κόστους. Το επίπεδο αυτών των απαιτήσεων αναθεωρείται κάθε πέντε χρόνια, ενώ δίνεται στα κράτη μέλη το δικαίωμα να διαφοροποιούν τα ελάχιστα όρια ανάλογα με το αν τα κτίρια είναι υφιστάμενα ή καινούρια, καθώς και ανάλογα με τη λειτουργία του κτιρίου. Βασικό στοιχείο της Οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, αποτελούν τα κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας (nZEB).

"Κτίριο με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας"

Ορισμός: Κτίριο με πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση του οποίου η σχεδόν μηδενική ή πολύ **χαμηλή** ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών, καλύπτεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, περιλαμβανομένης της ενέργειας που παράγεται επιτόπου ή πλησίον του κτιρίου.

Τα κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας διαθέτουν δομικά στοιχεία υψηλών ενεργειακών προδιαγραφών, Η/Μ εγκαταστάσεις ιδιαίτερα υψηλής ενεργειακής απόδοσης και ένα σημαντικό μερίδιο της ενεργειακής τους κατανάλωσης θα καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Μεταξύ άλλων αναφέρεται ότι:

α) έως τις 31 Δεκεμβρίου 2020 όλα τα νέα κτίρια πρέπει να αποτελούν κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας και

β) μετά τις 31 Δεκεμβρίου 2018 τα νέα κτίρια που στεγάζουν δημόσιες αρχές ή είναι ιδιοκτησίας τους πρέπει να αποτελούν κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας.

Κάθε κράτος - μέλος της ΕΕ οφείλει μεταξύ άλλων:

-να καθορίσει τις προδιαγραφές των ενεργειακών απαιτήσεων τόσο για τα στοιχεία κελύφους των κτιρίων, όσο και για το ποσοστό κάλυψης των αναγκών σε ενέργεια από ΑΠΕ.

-να καθορίσει τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κτιρίων του με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη τις εθνικές, περιφερειακές ή τοπικές συνθήκες, περιλαμβανομένου του αριθμητικού δείκτη της χρήσης πρωτογενούς ενέργειας σε κιλοβατώρες ανά τετραγωνικό μέτρο κατ' έτος (kWh/m²/yr).

-να ετοιμάσει τους ενδιάμεσους στόχους για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των νέων κτιρίων.

-να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις πολιτικές και τα οικονομικά ή άλλα μέτρα, που έχουν ληφθεί για την προώθηση των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας, περιλαμβανομένων λεπτομερειών όσον αφορά τις εθνικές απαιτήσεις. Επίσης να παρέχει

πληροφορίες σχετικά με τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν για τη χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στα νέα κτίρια, αλλά και τα υφιστάμενα που υφίστανται ριζική ανακαίνιση. Το κάθε κράτος - μέλος της ΕΕ θα πρέπει επίσης, να λάβει τα απαιτούμενα μέτρα χρηματοδότησης, για την προώθηση των κτιρίων σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης.

- **Οδηγία 2012/27/EK**, για την ενεργειακή αποδοτικότητα. Αυτή η οδηγία θέτει ένα κοινό πλαίσιο μέτρων για την προώθηση της ενεργειακής απόδοσης εντός της Κοινότητας, ώστε να επιτευχθεί ο στόχος της εξοικονόμησης κατά 20% μέχρι το 2020. Μεταξύ άλλων τα κράτη-μέλη αναλαμβάνουν δεσμεύσεις για στρατηγικές για την ανακαίνιση του εθνικού κτιριακού αποθέματος, καθώς και για ανακαίνιση των δημοσίων κτιρίων, που έχουν επιφάνεια άνω των 500 m² σε ποσοστό τουλάχιστον 3% της συνολικής τους επιφάνειας. Τα δημόσια κτίρια θα έχουν παραδειγματικό ρόλο όσον αφορά στην ανακαίνιση, ώστε να επιτευχθούν οι ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις. Ακόμα, η οδηγία προωθεί ενεργειακούς ελέγχους που θα διενεργούνται από ειδικευμένους εμπειρογνώμονες, εγκατάσταση μετρητών ενέργειας, που θα αντικατοπτρίζουν την πραγματική ενεργειακή κατανάλωση και γενικά μέτρα για την αποδοτική χρήση ενέργειας από τους καταναλωτές, όπως φορολογικά κίνητρα, χρηματοδότηση, δανεισμό, επιδοτήσεις κ.ά.

(Πηγή: <https://ec.europa.eu>)

1.3 Ενεργειακά Δεδομένα – ΕΛΛΑΔΑ

1.3.1 Γενικά

Στα μεγάλα αστικά κέντρα της Ελλάδας, οι ανάγκες των κτιρίων για ψύξη και θέρμανση έχει σημαντικά αυξηθεί τα τελευταία χρόνια, καθώς:

- το 52% των κτιρίων είναι κατασκευασμένο πριν το 1979, όπου τα κτίρια είναι θερμικά απροστάτευτα,
- το 44% είναι κατασκευασμένο μεταξύ 1980-2010, όπου σταδιακά εφαρμόζονταν συστήματα θερμομόνωσης και άλλα μέτρα βελτίωσης της ενεργειακής τους απόδοσης,
- μόνο το 4% κατασκευάστηκε μετά το 2010, που είχε ψηφιστεί ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.).

Στο πλαίσιο, λοιπόν, προσπάθειας εξοικονόμησης της ενέργειας, η χώρα προχώρησε στις απαραίτητες κινήσεις ώστε να εναρμονιστούν οι Ευρωπαϊκές Οδηγίες για την ενέργεια, με την ελληνική Νομοθεσία. Σε αυτή την κατεύθυνση τον Οκτώβριο/2010 θεσμοθετήθηκε ο Κ.Εν.Α.Κ. που ουσιαστικά αντικατέστησε τον μέχρι πρόσφατα ισχύοντα Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων και έχει υποχρεωτική εφαρμογή για όλα τα νεόδμητα κτίρια αλλά και ανάγκη σταδιακής ανακαίνισης των παλιών κτισμάτων. Ο Κ.Εν.Α.Κ. είναι ο κανονισμός που ισχύει σήμερα στη χώρα όσον αφορά στον υπολογισμό της ενεργειακής κατάταξης των κτιρίων και είναι η πρώτη ολοκληρωμένη προσπάθεια για τον καθορισμό των παραμέτρων που επιδρούν στην ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου.

1.3.2 Κ.Εν.Α.Κ. & Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ)

Ο Κ.Εν.Α.Κ. προβλέπει συγκεκριμένες οδηγίες για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και τη διασφάλιση συνθηκών άνεσης στους εσωτερικούς χώρους. Σκοπός του αποτελεί η μείωση της κατανάλωσης συμβατικής ενέργειας για:

- ✓ Θέρμανση
- ✓ Ψύξη
- ✓ Κλιματισμό

- ✓ Φωτισμό
- ✓ Παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ZNX).

Ο σκοπός αυτός επιτυγχάνεται μέσω του ενεργειακά αποδοτικού σχεδιασμού και μιας σειράς μέτρων, όπως:

- ✓ Εκπόνηση Μελέτης Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων
- ✓ Θέσπιση ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης κτιρίων
- ✓ Ενεργειακή Κατάταξη Κτιρίων (Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης)
- ✓ Ενεργειακές Επιθεωρήσεις κτιρίων, λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού.

(Πηγή: <http://www.ypeka.gr>)

ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (ΠΕΑ)

Σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων που έχει εγκριθεί με απόφαση των Υπουργών Οικονομικών, Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΦΕΚ Β' 2367/12.07.2017), καθώς και το άρθρο 11 του Ν. 4122/2013 (ΦΕΚ Α 42), το Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) περιλαμβάνει:

- ✓ Την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου ή της κτιριακής μονάδας και τιμές αναφοράς, όπως ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης, ώστε να επιτρέπει στους ιδιοκτήτες ή στους ενοικιαστές του κτιρίου ή της κτιριακής μονάδας να συγκρίνουν και να αξιολογούν την ενεργειακή απόδοσή του. Το πηλίκο της υπολογιζόμενης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m^2) του εξεταζόμενου κτιρίου προς την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς (kWh/m^2) αποτελεί το κριτήριο για την κατάταξη του κτιρίου στην αντίστοιχη κατηγορία ενεργειακής απόδοσης (A+, A, B+, B, G, Δ, E, Z, H).
- ✓ Πρόσθετες πληροφορίες, όπως τα γενικά στοιχεία του κτιρίου, την υπολογιζόμενη ετήσια συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς και του εξεταζόμενου κτιρίου, την ετήσια πραγματική κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου ή της κτιριακής μονάδας, το ποσοστό συμμετοχής της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στη συνολική κατανάλωση ενέργειας, τις υπολογιζόμενες και πραγματικές ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (kg/m^2), την εκτίμηση του ενεργειακού επιθεωρητή σχετικά με την αξιολόγηση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος.
- ✓ Συστάσεις οικονομικά συμφέρουσες για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου ή της κτιριακής μονάδας, εκτός εάν δεν υπάρχει εύλογη δυνατότητα σχετικής βελτίωσης σε σύγκριση με τις ισχύουσες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση.

Τέλος, όπως προβλέπεται στην παράγραφο 1 του άρθρου 12 του Ν. 4122/2013 (ΦΕΚ Α' 42), είναι υποχρεωτική η έκδοση Π.Ε.Α. στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- ▶ μετά την ολοκλήρωση κατασκευής νέου κτιρίου ή κτιριακής μονάδας, με την επιφύλαξη της παραγράφου 4,
- ▶ μετά την ολοκλήρωση ριζικής ανακαίνισης κτιρίου ή κτιριακής μονάδας,
- ▶ κατά την πώληση κτιρίου ή κτιριακής μονάδας,
- ▶ κατά τη μίσθωση σε νέο ενοικιαστή κτιρίου ή κτιριακής μονάδας, ε. για κτίρια συνολικής επιφάνειας άνω των πεντακοσίων τετραγωνικών μέτρων (500 τ.μ.), τα οποία χρησιμοποιούνται από υπηρεσίες του δημόσιου και ευρύτερου δημόσιου τομέα, όπως αυτός ορίζεται κάθε φορά, και τα οποία επισκέπτεται συχνά το κοινό. Από τις 9 Ιουλίου

2015 το κατώτατο όριο των πεντακοσίων τετραγωνικών μέτρων μειώθηκε στα διακόσια πενήντα τετραγωνικά μέτρα (250 τ.μ.).

(Πηγή: <http://www.ypeka.gr>)

1.3.3 «Εθνικό Σχέδιο Αύξησης του Αριθμού Κτιρίων με Σχεδόν Μηδενική Κατανάλωση Ενέργειας»

Η Οδηγία 2010/31/ΕΕ εντάχθηκε στο εθνικό νομικό πλαίσιο με το Νόμο 4122/2013 (ΦΕΚ 42/19-02-2013) για την Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων. Μεταξύ των υπολοίπων, στο Νόμο 4122/2013 προβλέπεται ότι από την 1.1.2021, όλα τα νέα κτίρια θα πρέπει να είναι κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, ενώ για τα αντίστοιχα του ευρύτερου δημόσιου τομέα, η υποχρέωση αυτή τίθεται σε ισχύ από την 1.1.2019. Έχει εγκριθεί επίσης εθνικό σχέδιο αύξησης του αριθμού των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας, το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει διαφορετικούς στόχους ανάλογα με την κατηγορία χρήσης του κτιρίου και έχει κοινοποιηθεί στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή.

Το εθνικό σχέδιο περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων τον καθορισμό των τεχνικών χαρακτηριστικών των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη τις εθνικές, περιφερειακές ή τοπικές συνθήκες. Στο πλαίσιο αυτό, με την ανάλυση ευαισθησίας των στοιχείων, έχει προκύψει ότι τα εύρη των τιμών των ενεργειακών καταναλώσεων πρωτογενούς ενέργειας για τις ενεργειακές κατηγορίες B μέχρι και A+ είναι όπως φαίνονται στον Πίνακα 1.1.

Ενεργειακή κατηγορία	Ενεργειακές καταναλώσεις κτιρίων κατοικίας ανά Κλιματική Ζώνη			
	A	B	Γ	Δ
A+	13 - 28	14 - 29	15 - 46	17 - 36
A	26 - 39	28 - 45	26 - 57	67 - 94
B+	42 - 63	48 - 75	62 - 103	60 - 118
B	60 - 92	70 - 109	93 - 141	89 - 171
Ενεργειακή κατηγορία	Ενεργειακές καταναλώσεις κτιρίων τριτογενούς τομέα ανά Κλιματική Ζώνη			
	A	B	Γ	Δ
A+	53 - 70	31 - 71	50 - 55	30
A	48 - 96	65 - 93	75 - 107	67-82
B+	105 - 161	98 - 153	113- 143	105 - 156
B	149 - 216	167 - 221	161 - 209	149 - 211

Πίνακας 1.1: Εύρος τιμών ενεργειακών καταναλώσεων για τις ενεργειακές κατηγορίες B μέχρι και A+ (Πηγή: <https://ec.europa.eu>)

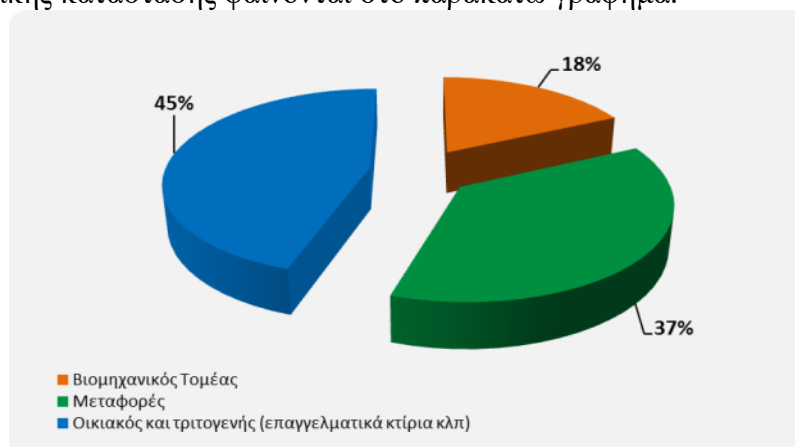
Λαμβάνοντας όλα τα παραπάνω υπόψη, αποφασίστηκε ότι για να χαρακτηριστεί ένα κτίριο ως Κτίριο με Σχεδόν Μηδενική Κατανάλωση Ενέργειας (ΚΣΜΚΕ), πρέπει:

- α) να κατατάσσεται τουλάχιστον στην ενεργειακή κατηγορία A, αν είναι νέο κτίριο,
- β) να κατατάσσεται τουλάχιστον στην ενεργειακή κατηγορία B+, αν είναι υφιστάμενο κτίριο.

Στις ανωτέρω κατηγορίες ο αριθμητικός δείκτης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας είναι αυτός που προκύπτει από την εφαρμογή του KENAK.

1.3.4 Κτιριακός Τομέας & Κτίρια Γραφείων

Όσον αφορά την ενεργειακή κατανάλωση, τα αντίστοιχα ποσοστά στην Ελλάδα σε σχέση με αυτά της ευρωπαϊκής κατάστασης φαίνονται στο παρακάτω γράφημα.



Σχήμα 1.5(α): Κατανομή της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης ανά χρήση στην Ελλάδα, έτος 2012
(Πηγή: <http://www.ypeka.gr>)

Τα αντίστοιχα ποσοστά για ενέργεια τελικής χρήσης στον ελληνικό οικιακό τομέα σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία είναι όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.5(β), οπότε συμπεραίνεται η μεγάλη σημασία που έχει για το τελικό ενεργειακό αποτύπωμα, της επιλογής του κατάλληλου συστήματος θέρμανσης αλλά και ηλεκτρικών συσκευών υψηλής απόδοσης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Ποσοστιαία (%) κατανομή της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά τελική χρήση	
Θέρμανση χώρων	63,7
Παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX)	5,7
Μαγείρεμα	17,3
Ψύξη Χώρων	1,3
Φωτισμός	1,7
Συσκευές (ηλεκτρικές/ηλεκτρονικές)	10,2
Σύνολο	100,0

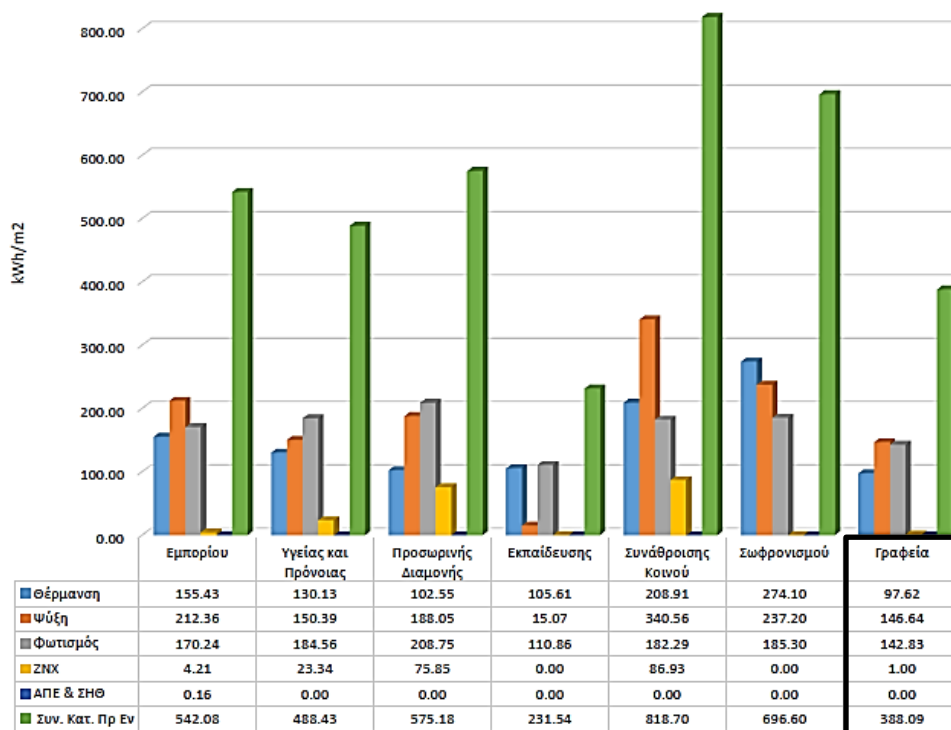
Σχήμα 1.5(β): Ποσοστά χρήσης ενέργειας ανά λειτουργία (Ελληνική Στατιστική Αρχή: Δελτίο Τύπου «Κατανάλωση ενέργειας στα Νοικοκυριά», 2013)

ΤΡΙΤΟΓΕΝΗΣ ΤΟΜΕΑΣ-ΕΛΛΑΔΑ

Από το σύνολο του κτιριακού τομέα στην Ελλάδα, ο τριτογενής αποτελεί τον πιο γρήγορα αναπτυσσόμενο τομέα όσον αφορά στην κατανάλωση ενέργειας, καθώς η τελευταία έχει σχεδόν τριπλασιαστεί από το 1990, ακολουθώντας μία μέση αυξητική τάση της τάξης του 6,7% ανά έτος.
(Πηγή: <https://ec.europa.eu/eurostat>)

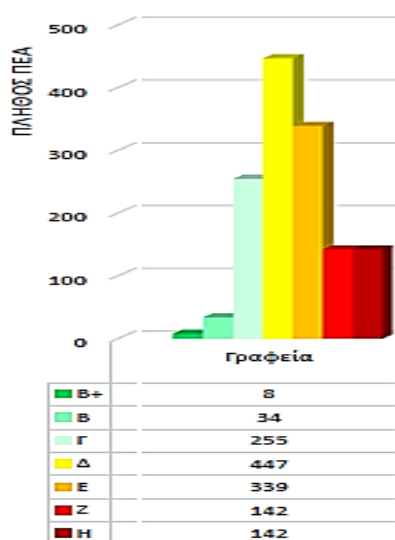
Παρακάτω επισημαίνονται επίσημα στατιστικά στοιχεία από αναλύσεις και Πιστοποιητικά Ενεργειακής Απόδοσης του Υπουργείου Περιβάλλοντος & Ενέργειας (ΥΠΕΚΑ) για το 1ο τρίμηνο του 2019 στην περιφέρεια Αττικής, όσον αφορά τις καταναλώσεις Πρωτογενούς Ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας (kWh/m²). Ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση των Κτιρίων Γραφείου, όπου παρατηρείται το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας να καταναλώνεται για την κάλυψη αναγκών σε ψύξη (147kWh/m²) και ακολουθεί ο φωτισμός και η θέρμανση με 143 και

98 kWh/m², αντίστοιχα (Σχήμα 1.6). Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα εξηγούνται λόγω της ανάγκης των χώρων γραφείων σε ψυκτικά φορτία, για να αντισταθμίσουν τα υψηλά θερμικά φορτία που προσδίδουν τα μηχανήματα, οι υπολογιστές, αλλά και γενικά οι εγκαταστάσεις που υπάρχουν στους συγκεκριμένους χώρους.



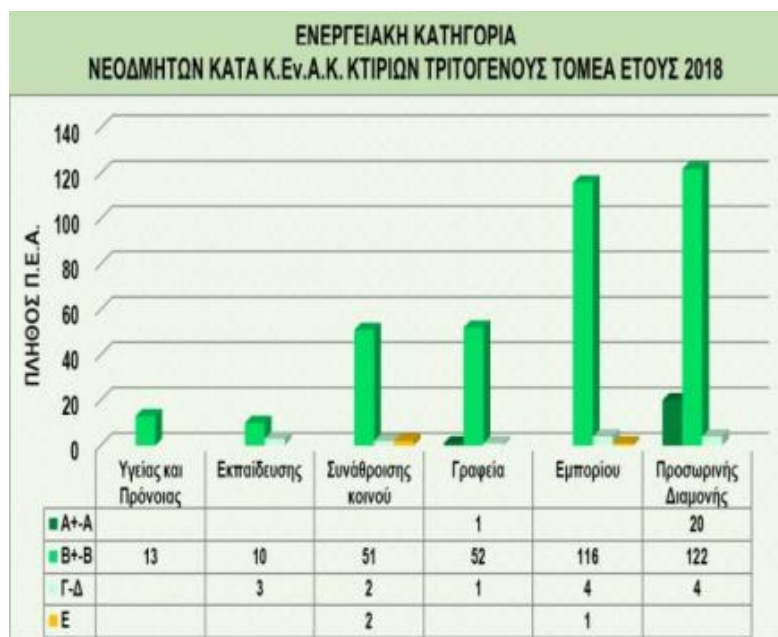
Σχήμα 1.6: Μέση κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας(kWh/m²), περιφέρεια Αττικής, 2019
(Πηγή: <http://www.ypeka.gr>)

Με βάση δεδομένα από την ίδια στατιστική υπηρεσία του ΥΠΕΚΑ, όσον αφορά την ενεργειακή κατηγορία των Κτιρίων Γραφείου, παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό αυτών στην Περιφέρεια Αττικής ανήκει σήμερα στην κατηγορία Δ (447 ΠΕΑ), όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.7, γεγονός που καθιστά εμφανή την ανάγκη λήψης μέτρων προς την κατεύθυνση της ενεργειακής εξοικονόμησης στους επαγγελματικούς χώρους.



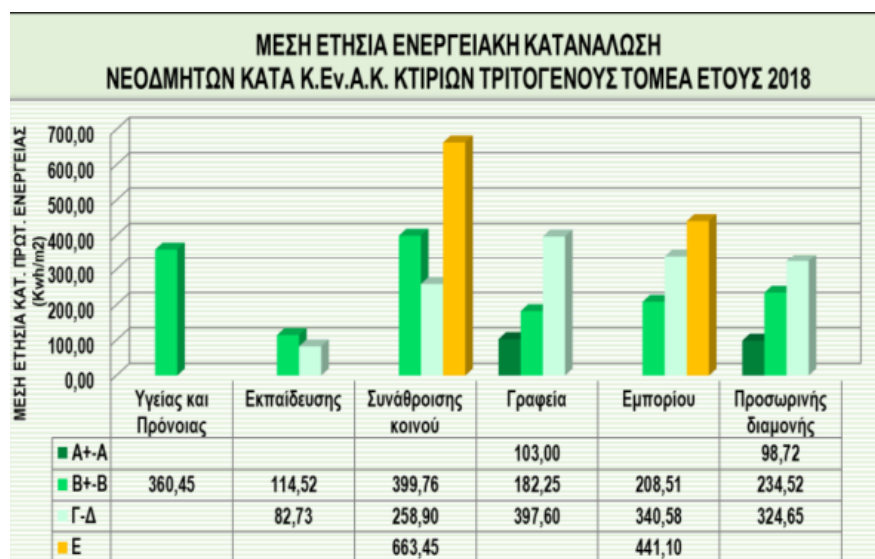
Σχήμα 1.7: Πλήθος ΠΕΑ ανά ενεργειακή κατηγορία, περιφέρεια Αττικής, 2019
(Πηγή: <http://www.ypeka.gr>)

Όσον αφορά , τέλος, τα *Νεόδμητα κτίρια*, οι ενεργειακές καταναλώσεις κατά Κ.Εν.Α.Κ. για τον τριτογενή τομέα κατά το 1^ο τρίμηνο του 2018, καθώς και το πλήθος των Π.Ε.Α. ανά ενεργειακή κατηγορία επισημαίνονται στα Σχήματα 1.8 και 1.9, αντίστοιχα. Μια αρκετά χρήσιμη πληροφορία που μπορεί να αντληθεί, μέσω αυτών, είναι ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των Νέων Κτιρίων Γραφείου εντάσσεται στην κατηγορία B+ (Σχήμα 1.9) , οπότε με τις κατάλληλες ενεργειακές παρεμβάσεις δύναται να μειωθούν επιπλέον οι ενεργειακές καταναλώσεις και άρα να επιτευχθεί η ένταξή τους στην ενεργειακή κατηγορία A, που ορίζει ο κανονισμός για όλα τα νέα κτίρια.



Σχήμα 1.8: Ενεργειακή κατηγορία νεοδόμετων κτιρίων τριτογενούς τομέα, περιφέρεια Αττικής, 1^ο τρίμηνο 2018

(Πηγή: <http://www.ypeka.gr>)



Σχήμα 1.9: Μέση ενεργειακή κατανάλωση ανά Ενεργειακή κατηγορία νεοδόμετων κτιρίων τριτογενούς τομέα, περιφέρεια Αττικής, 1^ο τρίμηνο 2018

(Πηγή: <http://www.ypeka.gr>)

1.3.5 Περιβαλλοντική Πιστοποίηση LEED

Την κατάταξη των κτιρίων σε κατηγορίες μέσω των Πιστοποιητικών Ενεργειακής Απόδοσης έρχονται τα τελευταία χρόνια να εμπλουτίσουν ορισμένα διεθνή πρότυπα περιβαλλοντικής πιστοποίησης. Ένα από τα πιο διαδεδομένα, διεθνώς, που κερδίζει ολοένα και περισσότερο έδαφος στο χώρο της αξιολόγησης κτιρίων είναι η Μέθοδος LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), που αποτελεί δημιούργημα του U.S.G.B.C (U.S. Green Building Council-Συμβούλιο Πράσινων Κτιρίων των Η.Π.Α.) και άρχισε να εφαρμόζεται πιλοτικά το 1998. Η μέθοδος αυτή έχει στόχο την προώθηση περιβαλλοντικά υπεύθυνων και κερδοφόρων κτιρίων που θα παρέχουν ένα υγιές περιβάλλον στους ανθρώπους που ζουν και εργάζονται μέσα σε αυτό.

Για να λάβει κάποιο κτίριο την πιστοποίηση, πρέπει το σχέδιο να δείξει τεκμηριωμένα, ότι πληροί ορισμένες προϋποθέσεις και να ανταποκρίνεται στο “Score” που καθορίζεται στο σύστημα βαθμολογικής κατάταξης LEED με τα παρακάτω τέσσερα επίπεδα πιστοποίησης για νέες κατασκευές:

- ✓ Certified : 40-49
- ✓ Silver : 50-59 (όπως: Εθνικό Μουσείο Σύγχρονης Τέχνης, 2014)
- ✓ Gold : 60-79 (όπως: Κτίριο Γραφείων Κεραμεικού, 2017)
- ✓ Platinum : 80 & άνω (όπως: Κέντρο Πολιτισμού Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος, 2016)

Στο Ελληνικό Νομοθετικό Πλαίσιο, η πιστοποίηση L.E.E.D. εντάχθηκε με τον Νέο Οικοδομικό Κανονισμό (Ν.4067/2012), όπου:

Αναφέρεται η μέθοδος LEED ως διεθνώς αναγνωρισμένη μεθοδολογία περιβαλλοντικής αξιολόγησης. Η εξαιρετική περιβαλλοντική απόδοση των κτιρίων τεκμηριώνεται με πιστοποίηση Χρυσού LEED και ένταξη στο προνομιακό καθεστώς των αειφόρων κτιρίων ελάχιστης ενεργειακής κατανάλωσης με οφέλη την αύξηση Συντελεστή δόμησης κατά 10%.

2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τα κτίρια , όπως προαναφέρθηκε, αποτελούν ένα μεγάλο ενεργειακό καταναλωτή, που έχουν, όμως, υψηλό δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας. Η ανάπτυξη κτιρίων με σχεδόν μηδενικές καταναλώσεις γίνεται ολοένα και περισσότερο εφικτή μέσω της προόδου στις ενεργειακές και κατασκευαστικές τεχνολογίες. Στο πλαίσιο αυτό, τα νέα κτίρια που κατασκευάζονται, αλλά και όσα ανακαινίζονται, πρέπει να καταναλώνουν όσο το δυνατόν λιγότερη ενέργεια και μάλιστα αυτή να παράγεται από ΑΠΕ, ώστε το ενεργειακό τους ισοζύγιο να πλησιάζει στο μηδέν.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αναπτύσσονται οι βασικές τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια , τόσο μέσω του παθητικού σχεδιασμού τους όσο και μέσω των ενεργών παρεμβάσεων στις εγκαταστάσεις τους για να είναι λιγότερο ενεργοβόρα. Επίσης, γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στις τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας που χρειάζεται να ενσωματωθούν στα κτίρια ούτως ώστε να επιτυγχάνεται η αύξηση της παραγόμενης ενέργειας σε αυτά με την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη κάλυψη των ενεργειακών τους απαιτήσεων από τη χρήση των παραπάνω τεχνολογιών.

2.2 Τεχνικές Εξοικονόμησης Ενέργειας

2.2.1 Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική

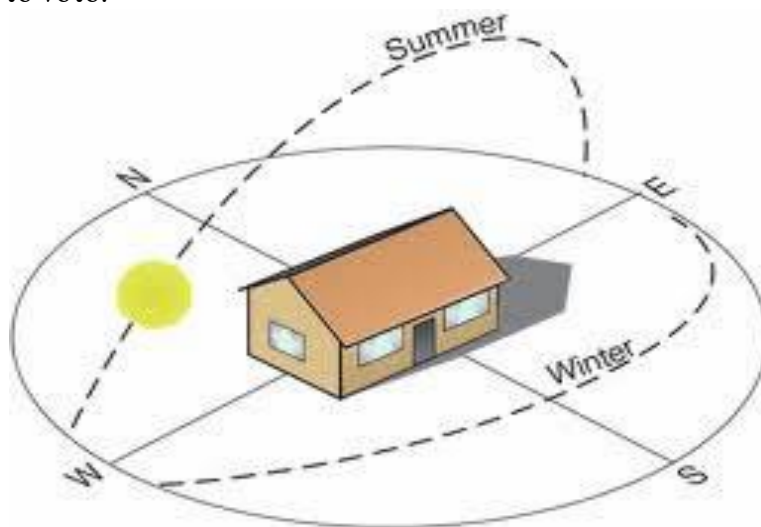
Για την κατασκευή και λειτουργία ενός βιοκλιματικού κτιρίου χρειάζεται να εξεταστούν, αρχικά, όλα τα δεδομένα που αφορούν τις κλιματικές συνθήκες της τοποθεσίας του, όπως, η εξωτερική θερμοκρασία, η υγρασία της περιοχής, η ηλιοφάνεια, το ποσοστό βροχόπτωσης στην περιοχή , κλπ., ώστε να υπολογιστούν τα κλιματικά οφέλη και οι περιορισμοί που προκύπτουν. Το κτίριο θα πρέπει να είναι σε θέση να συλλέγει και να αποθηκεύει θερμότητα όταν χρειάζονται θερμικά φορτία και στην αντίθετη περίπτωση να λειτουργεί ως φυσικός συλλέκτης δροσισμού και ως αποθήκη ψύξης. Είναι απαραίτητο, επίσης, να δρα ως φυσικός ανανεωτής αέρα, προκειμένου να προσφέρει στους χρήστες άνετο θερμικό εσωτερικό κλίμα.

Όσον αφορά την Ελλάδα, το κλίμα χαρακτηρίζεται από σχετικά ήπιους χειμώνες με χαμηλές νυχτερινές θερμοκρασίες και αρκετή υγρασία, αλλά και αρκετά θερμά καλοκαίρια. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, που παρατηρούνται χαμηλές θερμοκρασίες, αλλά και πιο πολλές βροχές, επιδιώκεται η ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών και του αερισμού (επιτρέποντας μόνον τον απαραίτητο για λόγους υγιεινής αέρα), καθώς και η αύξηση των θερμικών κερδών από την ηλιακή ακτινοβολία, μέσω της γνώσης της τροχιάς και θέσης του ήλιου ώστε να αποφασιστούν οι κατάλληλοι μέθοδοι φυσικού φωτισμού και μόνωσης. Αντίστοιχα, τη θερινή περίοδο, βασικός στόχος αποτελεί η ελαχιστοποίηση της θερμικής προσόδου από την ηλιακή ακτινοβολία και η βελτιστοποίηση των διαφόρων μεθόδων φυσικού κλιματισμού, ώστε να ελαχιστοποιηθεί ή ακόμη και να αποτραπεί ο παρεχόμενος κλιματισμός από το μηχανολογικό εξοπλισμό.

2.2.1.1 Προσανατολισμός Κτιρίου & Ανοιγμάτων

Η θέση και ο προσανατολισμός του κτιρίου, όπως επίσης και τα κατάλληλα προσανατολισμένα ανοίγματα είναι οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία ενός κτιρίου ως προς το παθητικό δροσισμό, τη θέρμανση, το φωτισμό.

Για την εύκρατη ζώνη, ο καλύτερος προσανατολισμός θεωρείται ο νότιος, όπου η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία είναι σχεδόν τριπλάσια σε σχέση με την αντίστοιχη σε ανατολή και δύση, για την περίοδο του χειμώνα. Για το καλοκαίρι, μειώνεται σχεδόν στο μισό για τις νότιες επιφάνειες σε σχέση με τις ανατολικές και δυτικές. Είναι βέβαια κατανοητό πως η παραπάνω απαίτηση δε γίνεται να επιτυγχάνεται πάντα, ειδικά εάν η κατασκευή αφορά κτίριο σε οικόπεδο πόλης με δυσμενή προσανατολισμό (ανατολική και δυτική ελεύθερη όψη). Επιτρέπονται, λοιπόν, αποκλίσεις ανατολικά ή δυτικά του νότου έως $\pm 30^\circ$ και με προεξοχές στο κέλυφος, των οποίων η όψη στρέφεται προς το νότο.



Σχήμα 2.1: Προσανατολισμός Κτιρίου με βάση της τροχιά του ήλιου
(Πηγή: <https://www.ktirio.gr>)

Σε ότι αφορά τα ανοίγματα του κτιρίου, προτείνονται τα μεγάλα να έχουν και αυτά προσανατολισμό νότιο ή με απόκλιση $\pm 30^\circ$ ανατολικά ή δυτικά αυτού, ενώ τα αντίστοιχα μέτρια μεγέθους να προσανατολίζονται στην ανατολική και δυτική όψη και τα μικρότερα στο βορρά. Σύγχρονη άποψη είναι ότι η γυάλινη επιφάνεια των ανοιγμάτων είναι η πιο οικονομική και ενεργειακά αποδοτική για να συλλέγει ηλιακή ακτινοβολία το χειμώνα, αρκεί να έχει και αυτή αντίστοιχο προσανατολισμό με τα ανοίγματα. Ο επαρκής φωτισμός και ηλιασμός του κτιρίου από τα νότια ανοίγματα επιτυγχάνεται, τέλος, με μέγιστο βάθος χώρου που δεν υπερβαίνει τη διάσταση που ισούται με 2,5 φορές το ύψος του ανοίγματος. Τα ανοίγματα στο βορρά, παρά το προτεινόμενο μικρό μέγεθός τους λόγω των μεγάλων απωλειών κατά το χειμώνα, πρέπει οπωσδήποτε να προβλέπονται στο σχεδιασμό των κτιρίων, καθώς εκτός της διασφάλισης φυσικού φωτισμού στους εσωτερικούς χώρους, παρέχουν τη δυνατότητα διαμεπερούς αερισμού το καλοκαίρι, οπότε και φυσικού δροσισμού του κτιρίου.

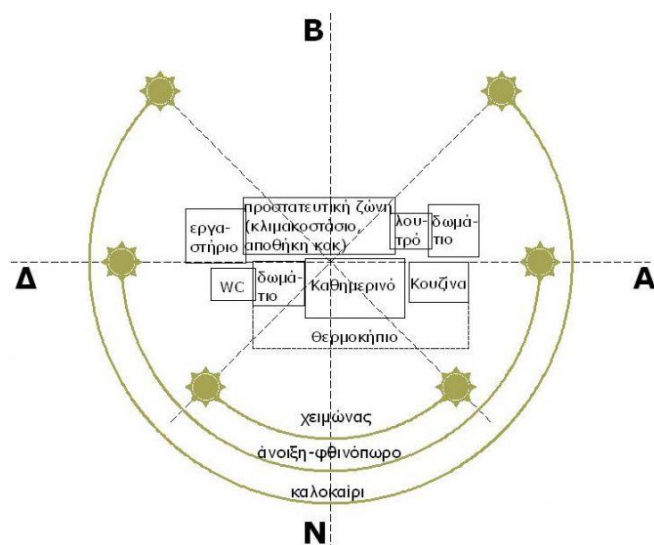
2.2.1.2 Σχήμα Κτιρίου – Εσωτερική Διαρρύθμιση

Το σχήμα του κτιρίου εξαρτάται από τις ανάγκες του για θέρμανση αλλά και ο γεωγραφικό πλάτος της περιοχής όπου βρίσκεται. Το καταλληλότερο, από ενεργειακή σκοπιά, σχήμα, είναι εκείνο που εξασφαλίζει τις ελάχιστες θερμικές απώλειες το χειμώνα με παράλληλα το μέγιστο ηλιακό κέρδος, και την ελάχιστη δυνατή θερμική επιβάρυνση το καλοκαίρι.

Για το εύκρατο κλίμα της Ελλάδας, το καταλληλότερο σχήμα είναι το επίμηκες κατά τον άξονα ανατολής-δύσης, καθώς προσφέρει μεγαλύτερη επιφάνεια προς το νότο, και άρα μεγαλύτερη συλλογή ηλιακής θερμότητας για τους χειμερινούς μήνες. Οι δυσμενείς προσανατολισμοί ανατολής – δύσης, προτείνεται να έχουν περιορισμένη επιφάνεια και συνεπώς μικρότερη επιβάρυνση από τον καλοκαιρινό ήλιο, ενώ επιβάλλεται να γίνεται σκίαση της νότιας πλευράς για να εμποδίζεται το καλοκαίρι ,που ο ήλιος είναι ψηλότερα, η είσοδός του στο εσωτερικό του κτιρίου. Η αναλογία βάθους προς πλάτος της κάτοψης πρέπει να είναι $\approx 1/1,5$.

Η ορθή διάταξη των χώρων στο εσωτερικό των κτιρίων εξαρτάται κυρίως από τις ανάγκες για ενέργεια που υπάρχουν, ιδίως το χειμώνα. Στη βόρεια πλευρά , που είναι η ψυχρότερη, τοποθετούνται οι χώροι που χρησιμοποιούνται λιγότερο μέσα στη μέρα και μπορούν να λειτουργήσουν ως ζώνη προστασίας από τους ψυχρούς βόρειους ανέμους και ως χώροι ανάσχεσης των θερμικών απωλειών των χώρων διημέρευσης. Τέτοιοι χώροι είναι οι αποθήκες, τα WC, το ασανσέρ, κλπ. Αντίθετα, στο νότιο μέρος τοποθετούνται οι χώροι με τις μέγιστες απαιτήσεις σε θέρμανση και φωτισμό που αποτελούν και τους χώρους πολύωρης χρήσης. Ειδικά στην περίπτωση κτιρίων γραφείου οι χώροι αυτοί είναι τα γραφεία των υπαλλήλων αλλά και οι αίθουσες συνεδριάσεων. Ακόμα, χώροι περιορισμένης χρήσης όπως κουζίνα ή τραπεζαρία καλό είναι να τοποθετούνται στις ενδιάμεσες θερμικές ζώνες (ανατολής – δύσης) , που τείνουν όμως προς τη νότια πλευρά.

Η θέα, εφόσον υπάρχει, είναι καθοριστικός παράγοντας στη διαρρύθμιση του εσωτερικού του κτιρίου. Στην περίπτωση που η θέα βρίσκεται στη βορεινή πλευρά του οικοπέδου, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, προβλέποντας μεγάλα ανοίγματα στο κτίριο προς το βορρά παρά το γεγονός ότι ίσως έτσι αυξάνονται οι θερμικές απώλειες του κελύφους.



Σχήμα 2.2: Βιοκλιματική διαρρύθμιση εσωτερικών χώρων κτιρίου
(Πηγή: <https://www.ktirio.gr/>)

2.2.2 Κέλυφος

2.2.2.1 Υλικά Δόμησης – Χάλυβας

Σημαντικός παράγοντας της βιοκλιματικής δόμησης ενός κτιρίου αποτελεί η επιλογή των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν σε αυτό ώστε να προσφέρουν υψηλή αισθητική αξία και αειφορία. Οι νέες κατασκευές θα πρέπει να προσαρμόζονται αποδοτικά στις ενεργειακές απαιτήσεις της εποχής και να λαμβάνεται υπόψη όλος ο κύκλος ζωής τους, από το σχεδιασμό και

τη λειτουργία τους, μέχρι τις δυνατότητες επέκτασής τους και ανακύκλωσης των δομικών αποβλήτων τους.

Σε αυτή την κατεύθυνση, η χρήση χάλυβα οδηγεί σε κατασκευές με μικρό βάρος και υψηλά τεχνικά χαρακτηριστικά, που σε συνδυασμό με τη υψηλό επίπεδο προκατασκευής μειώνουν το εύρος του εργοταξίου και ελαχιστοποιούν το "αποτύπωμα" στην περιοχή. Παρά το γεγονός ότι σαν υλικό ο χάλυβας κοστίζει σημαντικά περισσότερο από το οπλισμένο σκυρόδεμα, η στιβαρότητα της δομής του και η σημαντικά μεγάλη αντοχή του, προσφέρει μεγάλη διάρκεια ζωής στις κατασκευές (που είναι και το ζητούμενο όπως προαναφέρθηκε), ενώ η ακρίβεια στις διαστάσεις του μεγιστοποιεί την επίτευξη άνετων συνθηκών στο εσωτερικό των κτιρίων, καθώς αυτό παραμένει στεγανό σε αέρα και νερό, θερμομονωμένο αλλά και ηχομονωμένο, εφόσον απαιτείται.



Σχήμα 2.1: Σκελετός Τυπικής Μεταλλικής Κατασκευής
(Πηγή: <https://www.metalbuildingoutlet.com>)

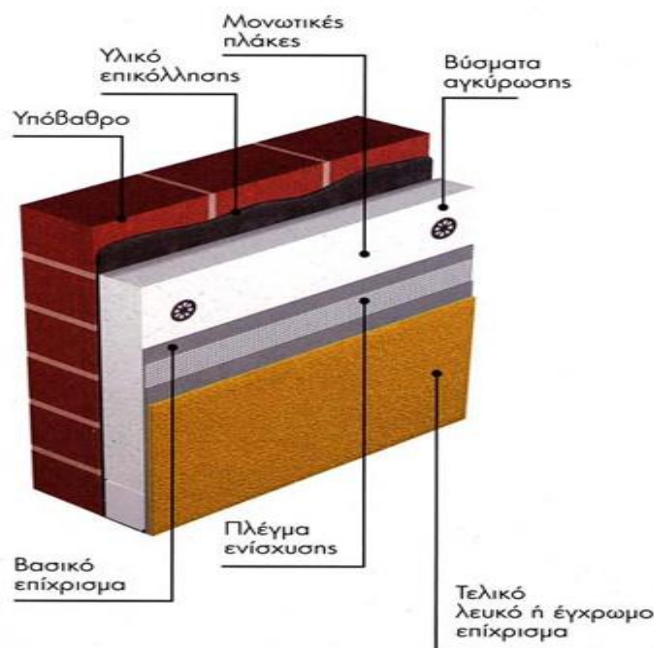
Τα μεταλλικά φέροντα πλαίσια επιτρέπουν την εύκολη ενσωμάτωση δικτύων και Η/Μ εξοπλισμού, διαμορφώνοντας κτίρια χαμηλότερου ύψους και όγκου με μικρότερες απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης. Τα μεγάλα ανοίγματα που επιτρέπουν οι μεταλλικές κατασκευές προσφέρουν κατόψεις, οι οποίες μπορούν να διαμορφωθούν ευέλικτα και να αναμορφωθούν εύκολα σε περίπτωση ανακαίνισης ή αναδιαμόρφωσης του κτιρίου, επεκτείνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής αυτών των κατασκευών.

Ως αποθήκες θερμότητας μπορούν να λειτουργήσουν τόσο το κέλυφος ενός κτιρίου, όσο και τα δάπεδα και οι οροφές, που αποτελούν τελικά και τη θερμική μάζα του κτιρίου, της οποίας το μέγεθος εξαρτάται από τη μορφή και τον προσανατολισμό του κτιρίου αλλά και τη θερμοχωρητικότητα των υλικών κατασκευής. Οι πτυχώσεις που δημιουργούν οι τραπεζοειδείς λαμαρίνες στις πλάκες των ορόφων της σύμμικτης κατασκευής αυξάνουν την επιφάνεια τους και άρα τη συνολική θερμική μάζα του κτιρίου. Επίσης, μεγάλη επίδραση στη δυνατότητα αποθήκευσης θερμότητας παίζει και το ποσοστό των υαλοπινάκων στις όψεις, το οποίο είναι γενικά μεγαλύτερο στις μεταλλικές κατασκευές.

2.2.2.2 Μόνωση

Η θερμομόνωση του κτιρίου αποτελεί τη βασική θερμική προστασία του κελύφους έναντι των καιρικών συνθηκών και εξαρτάται από το κλίμα, το σχήμα του κτιρίου αλλά και τον προσανατολισμό του. Στα ψυχρά κλίματα η απαίτηση για καλύτερη θερμομόνωση είναι μεγαλύτερη αφού η θερμοκρασία σχεδιασμού 20°C στο εσωτερικό του κτιρίου, αποκλίνει περισσότερο σε σχέση με τις εξωτερικές θερμοκρασίες. Επιβάλλεται προσθήκη κατάλληλου πάχους μόνωσης, σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς, σε τοίχους, οροφές και δάπεδο, ώστε να επιτυγχάνεται μείωση του συντελεστή θερμοπερατότητας των συμπαγών στοιχείων του κελύφους και συνεπώς μείωση των θερμικών απωλειών.

Η θερμομόνωση μπορεί να είναι είτε εξωτερικά είτε εσωτερικά του κτιρίου, ανάλογα με το που επιθυμείται να περικλείεται η θερμική μάζα. Σε κατασκευές που χρησιμοποιούνται όλο το έτος και απαιτείται η αποθήκευση της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό, συνήθης πρακτική αποτελεί η τοποθέτηση *Εξωτερικής Θερμομόνωσης* (Σχήμα 2.2) που μπορεί να εφαρμοστεί σε συνεχή μεγάλη επιφάνεια αλλά και στο δώμα ενός κτιρίου, και μειώνει αισθητά την παρουσία θερμογεφυρών. Σε περιπτώσεις κτιρίων που δε χρησιμοποιούνται όλο το χρόνο, όπως για παράδειγμα μια εξοχική κατοικία, καλύτερη λύση θεωρείται η τοποθέτηση εσωτερικής θερμομόνωσης. Τέλος, επιβάλλεται κινητή θερμική μόνωση των ανοιγμάτων για νυχτερινή προστασία με χρήση εξώφυλλων (περσίδες με θερμομόνωση).



Σχήμα 2.1: Τυπική Τομή Εξωτερικής Θερμομόνωσης
(Πηγή: <http://dapedotexniki.gr>)

2.2.2.3 Κουφώματα - Υαλοπίνακες & Υαλοπετάσματα τύπου Curtain Wall

Τα παράθυρα και γενικά τα κουφώματα επιτρέπουν την είσοδο του ημερήσιου φωτός στο κτίριο αλλά και την ενέργεια του ήλιου για θέρμανση. Ανάλογα με την κλιματική ζώνη, χρησιμοποιούνται τα αντίστοιχα θερμομονωτικά-αεροστεγή κουφώματα με κατάλληλους υαλοπίνακες (χαμηλής θερμοπερατότητας) ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις θερμικής άνεσης στους εσωτερικούς χώρους, η αποφυγή μεταφοράς θερμότητας και η εύρυθμη λειτουργία του συστήματος εξαερισμού για πρόσληψη εμφάνισης υγρασίας. Σε κάθε περίπτωση, συνίσταται και η τοποθέτηση διπλών ή περιστρεφόμενων θυρών και ανεμοθραυστών σε βορεινές εισόδους, για μείωση της διείσδυσης του αέρα, όπως επίσης απαιτείται καλή συναρμογή των αρμών των κουφωμάτων για επίτευξη αεροστεγανότητας.

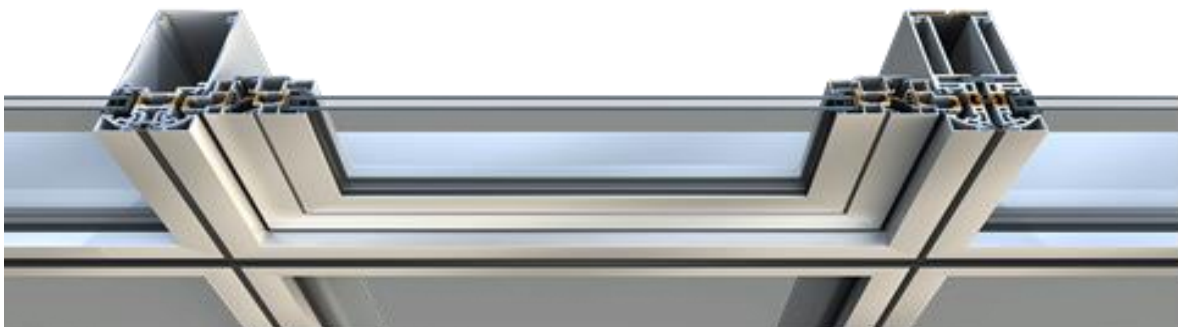
- ✓ Το Ενεργειακό γυαλί νέας γενιάς (Low-E) είναι ένα διάφανο γυαλί, το οποίο έχει επίστρωση μικροσκοπικών μεταλλικών οξειδίων στη μία του πλευρά, η οποία δεν επιτρέπει τη μεταφορά θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο του σπιτιού στον εξωτερικό περιβάλλοντα χώρο ή και αντίστροφα. Σε ψυχρά κλίματα, προτείνονται

τριπλοί υαλοπίνακες Low-e με αέριο argon στο διάκενο και μονωμένα πλαίσια, ενώ σε θερμότερα κλίματα, παράθυρο με διπλά τζάμια Low-e, το οποίο έχει την ιδιότητα να αντανακλά το υπέρυθρο φως του ήλιου (θερμότητα) και να επιτρέπει τη διέλευση μόνο στο ορατό φως.



Σχήμα 2.2: Τυπική Τομή Διπλού Υαλοπίνακα
(Πηγή: <http://www.ecohabitat.gr>)

- ✓ Σε ότι αφορά τα συστήματα Υαλοπετάσματος Curtain Wall χρησιμοποιούνται ως κτιριακό κέλυφος και εξασφαλίζουν μέγιστο φυσικό φωτισμό στον εσωτερικό χώρο, δημιουργώντας ένα άνετο και ασφαλές περιβάλλον για τους χρήστες του κτιρίου. Επιπλέον, τα υαλοπετάσματα αλουμινίου αποτελούν μια πολύ δημοφιλή επιλογή λόγω της υψηλής αισθητικής αξίας τους και των απεριόριστων δυνατοτήτων αρχιτεκτονικής φύσης που προσφέρουν.



Σχήμα 2.3: Τυπική Τομή Υαλοπετάσματος Curtain Wall
(Πηγή: <https://www.alumil.com>)

2.2.3 Ενεργειακές & Παθητικές Τεχνικές

2.2.3.1 Συστήματα Φυσικού/Τεχνητού Φωτισμού - Σκίασης

Φυσικός Φωτισμός

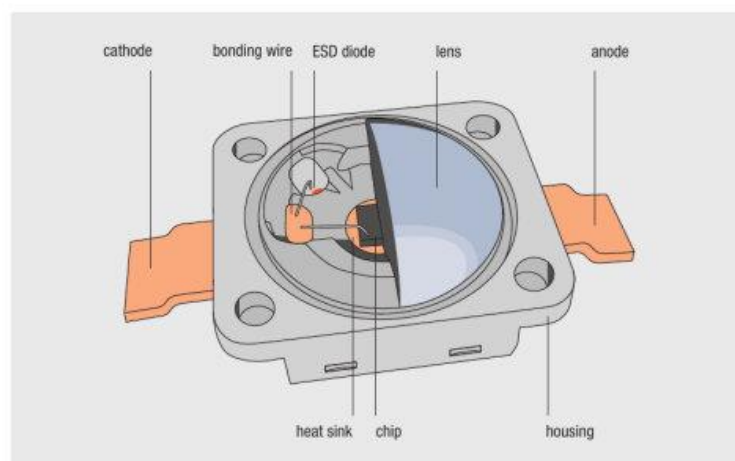
Ο πιο άμεσος τρόπος φυσικού φωτισμού του κτιρίου είναι μέσω της εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται σε αυτό. Η σωστή γεωμετρία, ο προσανατολισμός των κατακόρυφων ανοιγμάτων, τα αίθρια, τα ανοίγματα οροφής, οι φωταγωγοί, αλλά και οι κατάλληλοι υαλοπίνακες παίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο. Ακόμα, προεξοχές που ρίχνουν σκιές στην οροφή, τα κινητά συστήματα σκίασης που επιτρέπουν στο φως να κατευθύνεται εκεί που χρειάζεται περισσότερο, καθώς και οι φωτεινές, αντανakλαστικές επιφάνειες επιτρέπουν στο φως να διεισδύσει μέσα στο δωμάτιο χωρίς την απότομη αύξηση της θερμότητας του χώρου.

Όσον αφορά τα *αίθρια*, είτε ανοιχτά, είτε με κάλυψη, συνεισφέρουν στη βελτίωση των συνθηκών φυσικού φωτισμού, ιδιαίτερα σε κτίρια μεγάλης επιφάνειας καθώς

- ✓ επιτρέπουν την είσοδο φωτεινής ακτινοβολίας στις κεντρικές ζώνες του κτιρίου
- ✓ Βοηθούν στην αύξηση της στάθμης του φωτισμού των χώρων και στην ομοιογενή κατανομή του
- ✓ Παρέχουν διάχυτο φως (από τον ουρανό και από τις επάλληλες ανακλάσεις στο εσωτερικό τους), συντελώντας στην ομοιόμορφη κατανομή του.

Τεχνητός Φωτισμός

Αναφερόμενοι στον τεχνητό φωτισμό απασχολεί κυρίως η επιλογή λαμπτήρων υψηλής ενεργειακής απόδοσης και χαμηλής κατανάλωσης, όπως οι λαμπτήρες τεχνολογίας LED, που φαίνονται και στο Σχήμα 2.4. Ο συγκεκριμένος τύπος λυχνιών χρησιμοποιεί σημαντικά λιγότερη ενέργεια σε σχέση με τους συμβατικούς και παράλληλα με τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας με τον πιο αποδοτικό τρόπο. Επιπλέον μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανιχνευτές παρουσίας ή και αισθητήρες φωτισμού, που θα ενεργοποιούν τα φώτα, όταν δεν επαρκεί ο φυσικός φωτισμός καθώς και ρυθμιστές έντασης φωτισμού ανάλογα με τις ανάγκες του κτιρίου.



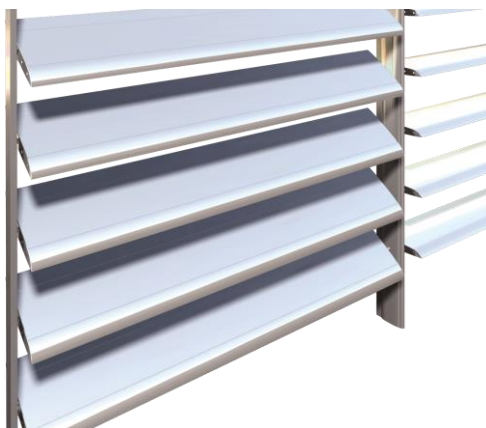
Σχήμα 2.4: Τεχνολογία LED
(Πηγή: <https://www.ledvance.gr>)

Σκίαση

Ένας, ακόμα, σημαντικός παράγοντας που αφορά την αειφορία μιας κατασκευής είναι ο σωστός τρόπος *σκίασης*. Οι κατάλληλες προεξοχές στο κτίριο και η εξωτερική σκίαση, σταθερή ή κινητή, είναι κρίσιμες για την παρεμπόδιση των ηλιακών θερμικών φορτίων κατά τη θερινή περίοδο, αλλά και για την μέγιστη εκμετάλλευση του φυσικού φωτός εντός του κτιρίου. Στα παράθυρα και τις πόρτες συστήνεται η τοποθέτηση προστατευτικών σκιάστρων, ενώ η βλάστηση στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου αποτελεί και αυτή έναν άμεσο και αποδοτικό τρόπο παθητικής σκίασης και δροσισμού.

- ✓ Για *νότιο προσανατολισμό* τα πιο κατάλληλα συστήματα σκίασης είναι τα οριζόντια (Σχήμα 2.5β) , σταθερά ή κινητά, καθώς οι ηλιακές ακτίνες το καλοκαίρι προσπίπτουν από ψηλότερο σημείο από ότι το χειμώνα. Επίσης , με την τοποθέτηση φυλλοβόλων δέντρων σε κατάλληλες θέσεις, διακόπτεται ο ηλιασμός τους καλοκαιρινούς μήνες και δίνεται ανάσα δροσιάς και σκίασης στο κτίριο ,ιδίως του καλοκαιρινούς μήνες. Έτσι μια πέργκολα στο νότο με φυλλοβόλα φυτά είναι ιδανική επιλογή, αφού το καλοκαίρι θα κρατήσει τον ήλιο μακριά, ενώ το χειμώνα που πέφτουν τα φύλλα επιτρέπεται η διείσδυση των ηλιακών ακτίνων στο σπίτι.
- ✓ Στα *βορινά ανοίγματα* δεν απαιτείται ηλιοπροστασία.
- ✓ Για *ανατολικά και δυτικά ανοίγματα* που δέχονται άμεσα την ηλιακή ακτινοβολία (ειδικά τα δυτικά ανοίγματα μετά το μεσημέρι), απαιτούνται κατακόρυφα συστήματα σκίασης –περσίδες- κάθετα στην όψη του κτιρίου ή υπό κλίση (Σχήμα 2.5α).
- ✓ Για *νοτιοανατολικό και νοτιοδυτικό προσανατολισμό* ανοιγμάτων τα συστήματα σκίασης πρέπει να είναι συνδυασμός οριζόντιων και κατακόρυφων στοιχείων.

Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν συστήματα αυτοματισμών σε επιλεγμένους χώρους, όπως κινούμενα πετάσματα, ώστε να ελέγξουν τη διείσδυση ή όχι του ήλιου στο κτίσμα.



(α)



(β)

Σχήμα 2.5: Συστήματα κατακόρυφης (α) και οριζόντιας (β) σκίασης

(Πηγή: <https://www.aluminco.com>)

2.2.3.2 Συστήματα Φυσικού/ Τεχνητού Αερισμού- Δροσισμού

Ο *φυσικός αερισμός* και *δροσισμός* επιτυγχάνεται μέσω της κατάλληλης σκίασης του κτιρίου (κατάλληλες προεξοχές, εσοχές), με τη βοήθεια των ανοιγμάτων που βρίσκονται στο κέλυφος και επιτρέπουν την ελεύθερη διείσδυση του αέρα στους εσωτερικούς χώρους ,με τους σωστούς μηχανισμούς σκίασης όπως αναφέρθηκαν και παραπάνω, με υαλοπίνακες με ειδικές επιστρώσεις

ή ειδικής επεξεργασίας (ανακλαστικοί, επιλεκτικοί, ηλεκτροχρωμικοί κ.λπ.) , αλλά και τη φυσική βλάστηση στο χώρο.

Ιδιαίτερη αναφορά οφείλεται να γίνει και στο *νυκτερινό δροσισμό* που είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός στην ανανέωση του αέρα με φυσικό ή τεχνητό τρόπο τις νυκτερινές ή πρωινές ώρες, όπου η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από αυτή του χώρου. Μέσω αυτού, απομακρύνεται το πρόσθετο θερμικό φορτίο που απορροφάται από τα υλικά κατασκευής στη διάρκεια της ημέρας, οπότε η ροή του αέρα πρέπει να ακολουθεί μεταβαλλόμενη κίνηση για πιο ομοιόμορφη κατανομή του ρεύματος και καλύτερο δροσισμό. Τα μεγέθη των ανοιγμάτων εισόδου – εξόδου του αέρα πρέπει να είναι περίπου ίδια, αλλά σε διαφορετικό ύψος. Το καλοκαίρι, ειδικά, θαλάσσιες αύρες με νοτιοανατολική ή βορεινή κατεύθυνση προσφέρουν δροσερούς ημερήσιους και το βράδυ, η δροσερή αύρα προέρχεται από τη στεριά, λόγω της ταχύτερης ψύξης του εδάφους. Τέλος, απαιτείται επαρκής αριθμός ανοιγμένων παραθύρων για τις δροσερές καλοκαιρινές νύχτες, ακόμα και όταν οι άνθρωποι δεν βρίσκονται στο κτίριο, για να βοηθήσουν στην εξασφάλιση άνετου εσωτερικού κλίματος κατά τη διάρκεια της ημέρας.

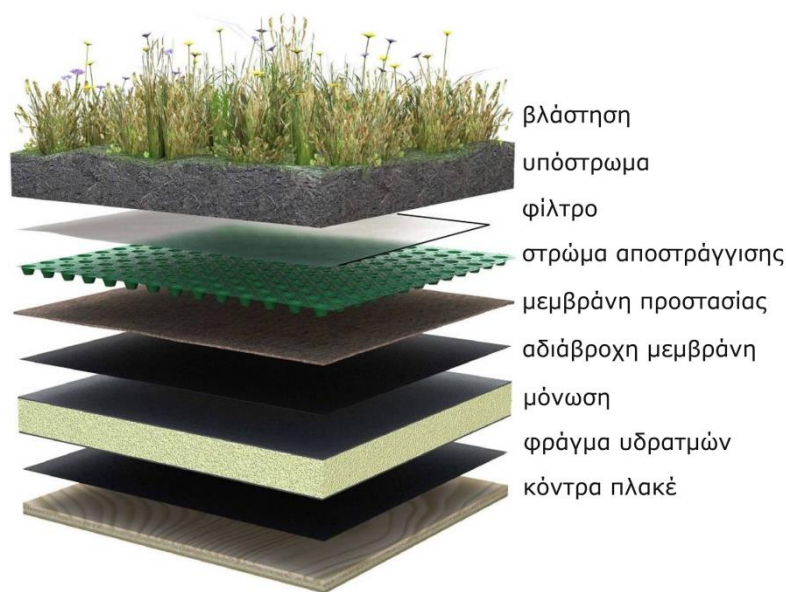
Τα κτίρια εξοπλίζονται, βέβαια, και με *μηχανικό σύστημα αερισμού* ο οποίος χρησιμοποιεί και σύστημα ανάκτησης θερμότητας, με σκοπό να εκμεταλλεύεται τη θερμότητα που εξέρχεται από το κτίριο και να μπορεί να προκληθεί περαιτέρω ψύξη μέσω του ίδιου του συστήματος εξαερισμού. Συμπαγείς μονάδες αντλιών θερμότητας, που συνδυάζουν τον εξαερισμό με τη θέρμανση και το ζεστό νερό με την προμήθεια και την αποθήκευση σε μία μονάδα, έχουν μεγάλη ζήτηση και πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ακόμα πιο πολύ στο μέλλον. Συνιστάται, επίσης, η χρήση ανεμιστήρων οι οποίοι ενισχύουν το φυσικό αερισμό, καταναλώνοντας ένα πολύ μικρό ποσό ηλεκτρικής ενέργειας και εξασφαλίζουν συνθήκες θερμικής άνεσης όταν η θερμοκρασία του χώρου είναι 2-3 °C υψηλότερη από την επιθυμητή.

Φυτεμένο Δώμα

Όσον αφορά την εξωτερική βλάστηση, η τοποθέτηση δέντρων ή θάμνων σε κατάλληλη απόσταση από το κτίριο βοηθά τη διέλευση του δροσερού ανέμου στο εσωτερικό αλλά και την σκιάσή του για περιορισμό της ακτινοβολίας που εισέρχεται σε αυτό. Μια πολύ διαδεδομένη μορφή εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια τα τελευταία χρόνια αποτελεί και η μετατροπή των οροφών των κτιρίων σε *Πράσινα Δώματα*, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.6. Μέσω αυτής της τεχνοτροπίας εξασφαλίζεται:

1. Βελτίωση μικροκλίματος
2. Μείωση της σκόνης και του νέφους στην ατμόσφαιρα
3. Μείωση ηχορύπανσης
4. Αξιοποίηση πολύτιμων ανακυκλωμένων και ανακυκλώσιμων υλικών
5. Ενίσχυση της θερμομόνωσης του κτιρίου & Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας
 - ✓ Η εφαρμογή πολυεπίπεδης διαστρωμάτωσης υλικών, χόματος και φυτών προστατεύει το δώμα από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, βελτιώνει τις συνθήκες θερμικής άνεσης και εξοικονομεί ενέργεια για την ψύξη και τη θέρμανση του κτιρίου.
6. Ενίσχυση της αναμενόμενης διάρκειας ζωής του κτιρίου
 - ✓ προστατεύονται τα υποκείμενα μονωτικά υλικά από φθορές που προκαλεί η έκθεσή τους στον ήλιο, στην υπερϊώδη ακτινοβολία και στις μεγάλες ανξομειώσεις της θερμοκρασίας.
 - ✓ Τα φυτά στο κέλυφος του κτιρίου ελαχιστοποιούν σε μεγάλο βαθμό τα καταστροφικά αποτελέσματα ακραίων καιρικών φαινομένων (άνεμος, χαλάζι, δυνατές βροχές) και μειώνουν τον κίνδυνο πυρκαγιάς.
7. Διαχείριση νερού στα συστήματα υποδομής πράσινων στεγών

- ✓ το ποσοστό του νερού που συγκρατείται σε ένα φυτεμένο δώμα εξαρτάται από το σύστημα υποδομής, το είδος και το ύψος του υποστρώματος ανάπτυξης φυτών, τα είδη των φυτών και το κλίμα της περιοχής. Κατά τους θερινούς μήνες η συγκράτηση νερού μπορεί να φτάσει το 70-90%, ενώ κατά τους χειμερινούς μήνες το αντίστοιχο ποσοστό είναι 40-50%.
8. Παραγωγή ενέργειας στη στέγη
- ✓ βελτιστοποιείται η λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων και αυξάνεται η παραγωγή ενέργειας σε αυτά μέσω της μείωσης της θερμοκρασίας που οφείλεται στην εξάτμιση της υγρασίας αλλά και στη διαπνοή των φυτών.
9. Αξιοποίηση ανεκμετάλλευτων χώρων στα κτίρια
- ✓ Επιτυγχάνεται ανάκτηση των χαμένων χώρων πρασίνου από το έδαφος, ενώ η αύξηση της εκμεταλλεύσιμης επιφάνειας του ακινήτου αυξάνει ταυτόχρονα και την εμπορική του αξία.



Σχήμα 2.6: Τυπική Διαστρωμάτωση Φυτεμένου Δώματος
(Πηγή: <http://citygreen.gr>)

Τέλος ,ανάλογα το είδος του πράσινου δώματος που επιδιώκεται στην κατασκευή διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

A. *Εκτατικός τύπος*, όταν ζητούμενο αποτελεί η εξοικονόμηση ενέργειας ή όταν υπάρχουν περιορισμοί στην στατικότητα ή την πρόσβαση στο δώμα. Το είδος της βλάστησης η οποία μπορεί να εγκατασταθεί είναι ποώδη και αρωματικά φυτά, φυτά εδαφοκάλυψης και χλοοτάπητας. Το φυτικό υπόστρωμα κυμαίνεται μεταξύ 8 - 20cm, το μέγιστο βάρος της κατασκευής είναι τα 120 - 150kg/m², ενώ έχει τις μικρότερες ανάγκες συντήρησης από τους άλλους δύο τύπους.

B. *Ημιεντατικός τύπος*, όταν ζητούμενο είναι η δημιουργία ενός πιο σύνθετου τοπίου, με περισσότερες επιλογές υλικών στην διαμόρφωση του δώματος. Το είδος της βλάστησης η οποία μπορεί να εγκατασταθεί είναι ποώδη και αρωματικά φυτά, φυτά εδαφοκάλυψης, χλοοτάπητας αλλά και θάμνοι ύψους 50 - 150 cm, ενώ το φυτικό υπόστρωμα κυμαίνεται μεταξύ 20 - 45cm.

Γ. *Εντατικός τύπος*, ο οποίος δίνει την δυνατότητα δημιουργίας ενός πραγματικού κήπου στην στέγη του κτιρίου φυτεύοντας ακόμη και δένδρα και τοποθετώντας πλήθος κατασκευών όπως πλακόστρωση, πέργκολα, deck, κ.α. Το ύψος του υποστρώματος κυμαίνεται μεταξύ 45 - 120cm.

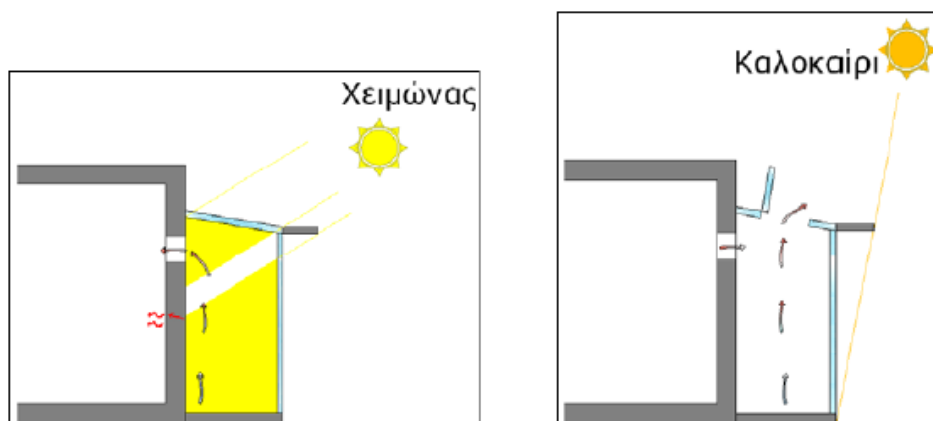
2.2.3.3 Συστήματα Παθητικής Ηλιακής Θέρμανσης

Τα *παθητικά ηλιακά συστήματα* αποτελούνται από δομικά στοιχεία, κατάλληλα σχεδιασμένα και συνδυασμένα μεταξύ τους, ώστε να υποβοηθούν την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για τον φυσικό φωτισμό των κτιρίων ή για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας όπως αναφέρθηκαν και στις προηγούμενες παραγράφους. Βασικότερη προϋπόθεσή τους αποτελεί ο νότιος προσανατολισμός τους (με απόκλιση $\pm 30^\circ$ προς ανατολή ή δύση) και να μην εμποδίζεται ο χειμερινός ηλιασμός τους από πλευρικά σκίαστρα. Δεν κάνουν χρήση μηχανικών μέσων για τη μεταφορά της θερμότητας προς το χώρο και βασίζονται στη φυσική ροή της θερμικής ενέργειας, εκμεταλλευόμενα τις φυσικές ιδιότητες των υλικών του κτιρίου. Επιγραμματικά, αναφέρονται:

α) *Νότιο υαλοστάσιο*. Τα ανοίγματα με νότιο προσανατολισμό μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μερική κάλυψη των θερμικών απωλειών. Η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται μέσω του υαλοστασίου και διανέμεται στο δωμάτιο. Η θερμική μάζα του δωματίου αποθηκεύει τη θερμότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας και την αποδίδει τις βραδινές ώρες, ενώ οφείλουν να είναι εφοδιασμένα με νυχτερινή κινητή μόνωση για τον περιορισμό των θερμικών απωλειών και σκίαση όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 2.3.3.1.

β) *Τοίχος θερμικής αποθήκευσης*. Έχουν στην εξωτερική τους πλευρά, σε μικρή απόσταση από την τοιχοποιία τζάμι (υαλοπίνακα) και λειτουργούν ως ηλιακοί συλλέκτες, μεταφέροντας τη θερμότητα είτε μέσω του υλικού του τοίχου (*τοίχος θερμικής αποθήκευσης*), είτε μέσω θυρίδων (*θερμοσιφωνικό πανέλο*) στον εσωτερικό χώρο. Στον τοίχο μπορεί να ενσωματώνονται θυρίδες για την κυκλοφορία του αέρα (τοίχος Trombe-Michelle). Η αποτελεσματικότητα του συστήματος βελτιώνεται με την πρόβλεψη νυχτερινής μόνωσης. Η απενεργοποίηση του το καλοκαίρι επιτυγχάνεται με σκiasμό και ενσωμάτωση θυρίδων στον υαλοπίνακα.

γ) *Θερμοκήπιο ή ηλιακός χώρος*. Είναι κλειστοί χώροι (μη θερμαινόμενοι) που ενσωματώνονται σε νότια τμήματα του κτιριακού κελύφους και περιβάλλονται από υαλοστάσια. Η ηλιακή θερμότητα από το θερμοκήπιο μεταφέρεται στους κυρίως χώρους του κτιρίου μέσω ανοιγμάτων ή και διαπερνά τον τοίχο. (Σχήμα 2.7.)



Σχήμα 2.7: Χειμερινή και θερινή λειτουργία θερμοκηπίου, με ανοιγόμενα υαλοστάσια
(Πηγή: <https://sites.google.com>)

δ) *Ηλιακό Αίθριο*. Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 2.3.1.1, με τη δημιουργία αίθριου στην οροφή του κτιρίου, εκτός από τη συλλογή φωτός για τις ανάγκες φωτισμού, επιτυγχάνεται και άμεση εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας και άρα φυσική θέρμανση του κτιρίου.

2.3 Ενσωμάτωση Α.Π.Ε. στα Κτίρια

Κατά τον ενεργειακό σχεδιασμό ενός κτιρίου, σημαντικό στάδιο αποτελεί η ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε αυτό, ώστε να αντικατασταθούν τα συμβατικά καύσιμα όπως ο άνθρακας, το αργό πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Σε ένα οικιστικό σύνολο, πηγές ενέργειας, όπως η γεωθερμία και η βιομάζα, αποτελούν μια αξιόλογη πηγή άντλησης ενέργειας για τηλεθέρμανση και ψύξη, ενώ η αιολική και ηλιακή ενέργεια, βοηθούν στην ηλεκτροδότηση με φωτοβολταϊκά ή αιολικά συστήματα. Σε επίπεδο κατοικίας συστήνονται επίσης παθητικά ηλιακά συστήματα, αντλίες θερμότητας ή φωτοβολταϊκά. Η χρήση αυτοματισμών, οι θερμοστατικοί διακόπτες και χρονοδιακόπτες, εξασφαλίζουν σημαντική μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, όπως επίσης η επιλογή συστημάτων υψηλού βαθμού απόδοσης και δυνατότητας ρύθμισης για περιπτώσεις μερικού φορτίου.

2.3.1 Ηλιακά Συστήματα Ψύξης/Θέρμανσης & παραγωγής ZNX

2.3.1.1 Ηλιακοί Θερμοσίφωνες

Ο ηλιακός θερμοσίφωνας είναι η απλούστερη ηλιακή συσκευή που χρησιμοποιείται για την θέρμανση νερού χρήσης (σε κατοικίες και κτίρια τριτογενούς τομέα), για θέρμανση και ψύξη χώρων αλλά και θέρμανση πισίνας. Ειδικά για τα Νέα Κτίρια είναι υποχρεωτική η κάλυψη μέρους των αναγκών σε ZNX από ηλιοθερμικά συστήματα.

Τα συστήματα που προορίζονται για θέρμανση ZNX αποτελούνται από τους ηλιακούς συλλέκτες, τη δεξαμενή αποθήκευσης, μια δεξαμενή αποθήκευσης του νερού θέρμανσης, τις σωληνώσεις και το σύστημα ελέγχου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.8. Ο ηλιακός συλλέκτης τοποθετείται, συνήθως, στην ταράτσα με νότιο προσανατολισμό (απόκλιση έως 30° από το νότο) και κλίση είτε κατακόρυφη, είτε υπό γωνία, με βέλτιστη κλίση :

- ✓ 30-45° για τον ελλαδικό χώρο, για θέρμανση ZNX
- ✓ 45-60° για θέρμανση χώρου

Ακόμα, αποτελείται από μια σκουρόχρωμη μεταλλική επιφάνεια με πάνω της υαλοπίνακα και όλο το σύστημα συνδέεται με το κτίριο με θυρίδες εισροής και εκροής του αέρα του εσωτερικού χώρου προς και από το πανέλο. Οι θυρίδες αυτές τοποθετούνται καθ' όλο το πλάτος του πανέλου, με διάμετρο 20-30 cm και τελικά όλο το σύστημα θερμομονώνεται.



Σχήμα 2.8: Ηλιακό θερμικό σύστημα για παραγωγή ZNX και θέρμανση
(Πηγή: <https://www.diana-solar.gr>)

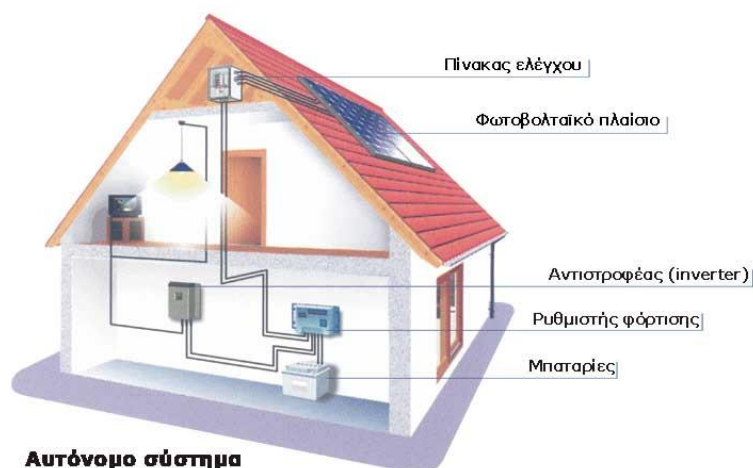
Διακρίνονται δύο είδη ηλιακών θερμοσίφωνων ανάλογα με την μεταφορά παραγόμενης ενέργειας στο ZNX, με τον πρώτο να είναι οι *τύπου ανοιχτού κυκλώματος*, όπου το νερό χρήσης ρέει μέσα από τον συλλέκτη θερμαίνεται και αποθηκεύεται στο δοχείο ZNX και ο δεύτερος *τύπος κλειστού κυκλώματος*, όπου σε αυτή την περίπτωση το νερό χρήσης δεν ρέει αλλά αποθηκεύεται σε σωληνώσεις μέσα στο μπόιλερ (δοχείο ZNX), με την μεταφορά του να πραγματοποιείται από ένα κλειστό κύκλωμα σωληνώσεων νερού που δεν έρχεται σε επαφή με το νερό χρήσης.

Οι θερμοσίφωνες κλειστού τύπου, που είναι και οι πιο διαδεδομένοι, διαχωρίζονται με βάση τη θέση του μπόιλερ (δοχείο θέρμανσης ZNX) σε σχέση με το σύνολο της κατασκευής. Υπάρχουν οι *Φυσικής Ροής θερμοσίφωνες*, όπου το μπόιλερ βρίσκεται επάνω στην βάση του συλλέκτη και ψηλότερα από αυτόν (το θερμό νερό ανεβαίνει με φυσικό τρόπο στο μπόιλερ και ωθεί αυτομάτως το ψυχρό να επιστρέψει στους συλλέκτες για αναθέρμανση). Τέλος, υπάρχουν οι *θερμοσίφωνες Εξαναγκασμένης Ροής*, όπου το μπόιλερ βρίσκεται χαμηλότερα από τον συλλέκτη, οπότε απαιτείται ένας κυκλοφορητής νερού στο κλειστό κύκλωμα για την μεταφορά της παραγόμενης ενέργειας από τον συλλέκτη στο δοχείο ZNX. Το πλεονέκτημα αυτού του τύπου θερμοσίφωνα είναι ότι δίνει την δυνατότητα τοποθέτησης του μπόιλερ στο υπόγειο, όπου επιπλέον των αισθητικών λόγων, μπορεί να συνδεθεί εύκολα και με το δίκτυο θέρμανσης του κτιρίου.

2.3.1.2 Φωτοβολταϊκά Συστήματα – Net Metering

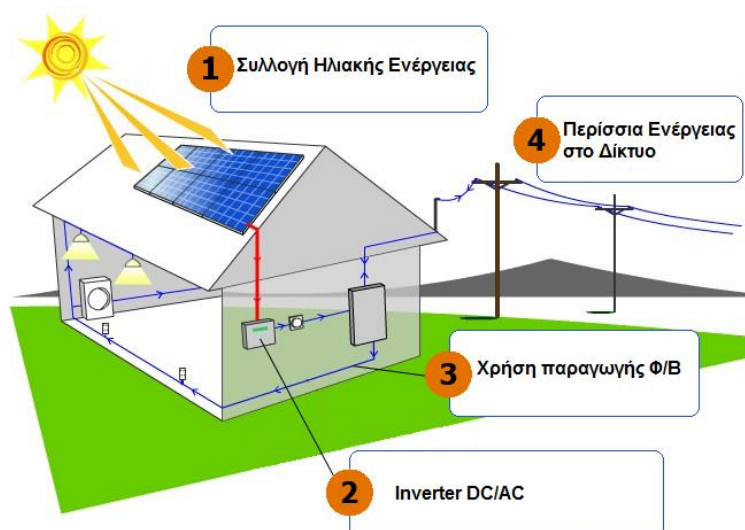
Μέσω των φωτοβολταϊκών γίνεται εκμετάλλευση της ενέργειας της ενεργειακής ακτινοβολίας, η ισχύς της οποίας μπορεί να φτάσει το 1kW, όταν προσπίπτει πάνω σε μία επιφάνεια 1 m², σε μια ηλιόλουστη ημέρα. Ένα μέσο σύστημα Φ/Β μετατρέπει περίπου το 12% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική (10%-16% η απόδοση του Φ/Β), ενώ ενδεικτικά στην Αττική έχει καταγραφεί ισχύς 1500 kWh/έτος.

Τα *αυτόνομα* φωτοβολταϊκά συλλέγουν ηλιακή ενέργεια και τη μετατρέπουν σε ηλεκτρισμό με τη χρήση ημιαγωγών, ενώ βέλτιστος προσανατολισμός είναι ο νότιος με βέλτιστη κλίση για ετήσια παραγωγή ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής (αποδεκτή απόκλιση $\pm 15^\circ$). Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται αποθηκεύεται σε συστοιχία μπαταριών, μέσω ενός ρυθμιστή φόρτισης, ώστε το ηλεκτρικό ρεύμα να είναι διαθέσιμο, κάθε στιγμή της ημέρας ή της νύχτας. Από τις μπαταρίες, το ηλεκτρικό ρεύμα διοχετεύεται στην κατανάλωση, μέσω ενός αντιστροφέα (inverter), που το μετατρέπει από συνεχές σε εναλλασσόμενο. Μπορούν να εγκατασταθούν στην οροφή ή τη στέγη του κτιρίου, να ενσωματωθούν στις προσόψεις ή να εγκατασταθούν σε κάποιο σημείο του οικοπέδου. (Σχήμα 2.9)



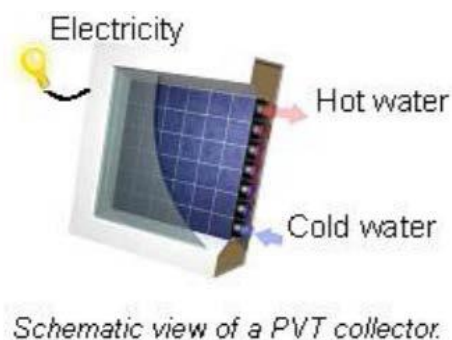
Σχήμα 2.9: Αυτόνομο Σύστημα Φωτοβολταϊκών
(Πηγή: <https://www.solaire.gr>)

Εκτός από τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά, σημαντική εναλλακτική αποτελεί και το σύστημα *Net-metering* ή «Αυτοπαραγωγή με Ενεργειακό Συμψηφισμό». Στη συγκεκριμένη περίπτωση εάν μέρος της παραγόμενης ενέργειας περισσεύει, αυτή διοχετεύεται στο δίκτυο της ΔΕΗ (ελεγχόμενη ενέργεια), ενώ όταν χρειάζεται επιπλέον ενέργεια, αυτή λαμβάνεται από το δίκτυο της ΔΕΗ (Σχήμα 2.10). Στο *Net-metering* η παραγόμενη ενέργεια συμψηφίζεται με αυτήν που καταναλώνεται και δεν πωλείται σε μια συμφωνημένη τιμή στο δίκτυο. Έτσι, ο λογαριασμός του ηλεκτρικού ρεύματος μειώνεται σημαντικά, με το όφελος να αυξάνει κάθε χρόνο, ανάλογα με την αύξηση της τιμής του ρεύματος. Επίσης, δεν χρειάζονται μπαταρίες, γιατί χρησιμοποιείται το δίκτυο για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας, οπότε παρατηρείται σημαντική οικονομική ελάφρυνση στο αρχικό κόστος αγοράς. Τέλος, σημαντική παρατήρηση στην χρησιμοποίηση του συγκεκριμένου συστήματος αποτελεί η σχετική Νομοθεσία με τα όρια επιτρεπόμενης ισχύς ανά περιοχή εγκατάστασης.



Σχήμα 2.10: Σύστημα Φωτοβολταϊκών Net-Metering
(Πηγή: <https://www.solaire.gr>)

Ακόμη μια περίπτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων αποτελούν τα *Υβριδικά Φωτοβολταϊκά PV/T* (Σχήμα 2.11), τα οποία, σε αντίθεση με τα συμβατικά που συνήθως μετατρέπουν μόνο το 10-15% της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια και το υπόλοιπο διαχέεται ως θερμότητα στο περιβάλλον, συνδυάζουν φωτοβολταϊκά συστήματα με θερμικούς ηλιακούς συλλέκτες οπότε παράγουν τόσο ηλεκτρισμό όσο και θερμική ενέργεια ταυτόχρονα. Η θερμότητα που αναπτύσσει το πλαίσιο απορροφάται, με σκοπό την παραγωγή ζεστού νερού και με αυτό τον τρόπο η απόδοση του συστήματος βελτιστοποιείται. Τα Υβριδικά Φωτοβολταϊκά / Θερμικά συστήματα προσφέρουν υψηλότερη απόδοση σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και εξοικονομούν χώρο, καθώς μόνο ένα πλαίσιο απαιτείται για την παραγωγή τόσο θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας.

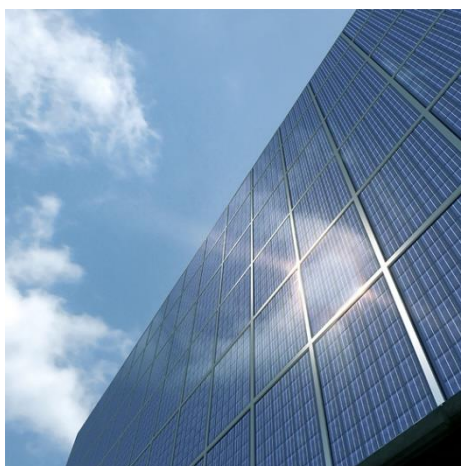


Σχήμα 2.11: Υβριδικό Φωτοβολταϊκό Σύστημα
(Πηγή: <https://www.solaire.gr>)

2.3.1.3 Building Integrated Photovoltaic (BIPV)

Από τις πιο σημαντικές και καινοτόμες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών στα κτίρια αποτελεί αυτή των ενσωματωμένων στο κέλυφος του κτιρίου, ως δομικά υλικά, φ/β συστημάτων (Σχήμα 2.12). Τα BIPV (Building Integrated Photovoltaics) ενσωματωμένα στο κτίριο φωτοβολταϊκά), εξακολουθούν να παρέχουν στο εσωτερικό του κτιρίου, σκιασμό, προστασία από τις καιρικές συνθήκες και ασφάλεια, ενώ ταυτόχρονα έχουν τη δυνατότητα να καλύπτουν και το μεγαλύτερο ποσοστό της απαίτησης του κτιρίου σε ηλεκτρισμό. Επιτυγχάνεται καλύτερη εκμετάλλευση του διαθέσιμου χώρου και γίνεται οικονομία στη χρήση δομικών υλικών για την κατασκευή του κελύφους.

Οι κυριότερες εφαρμογές ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτίρια είναι η κάλυψη ολόκληρης ή μέρους της οροφής του κτιρίου, η χρήση τους σε υάλινες προσόψεις του κτιρίου, αλλά και η χρήση τους σε επιφάνειες προστασίας από καιρικές συνθήκες όπως στέγαστρα, σκίαστρα, κλπ. Για εφαρμογές Φ/Β συστημάτων σε νέα κτίρια είναι προτιμότερα τα πλαίσια χωρίς το πλαίσιο αλουμινίου (τύπου laminate) τα οποία επιτρέπουν την ενσωμάτωση τους σαν δομικές επιφάνειες του κτιρίου και η στήριξη μεταξύ τους πραγματοποιείται με ειδικά μονωτικά υλικά.

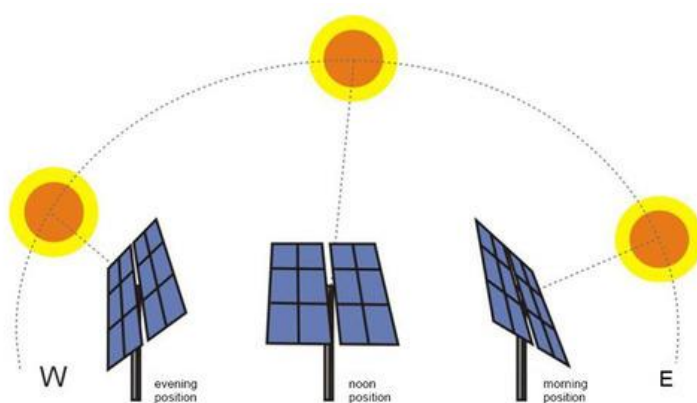


Σχήμα 2.12: Ενσωματωμένα στο κέλυφος του κτιρίου φ/β πάνελ
(Πηγή: <https://www.solaire.gr>)

2.3.1.4 Sun Tracking Systems

Τα λεγόμενα sun trackers μετακινούν τα φωτοβολταϊκά πάνελ για να παρακολουθούν την κίνηση της ηλιακής ακτινοβολίας, διατηρώντας τον καλύτερο σχετικό προσανατολισμό σχετικά με την θέση του ήλιου (κάθετα), όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στο Σχήμα 2.13. Το Γεωγραφικό πλάτος, η γωνία υψομετρικής θέσης του ηλίου και η γωνία που ορίζεται από το ζενίθ του ήλιου είναι βασικά στοιχεία που καθορίζουν την αποτελεσματικότητα αυτών των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Ενώ με τη χρήση τους μπορεί να ενισχυθεί το ποσοστό άντλησης ηλιακής ενέργειας κατά 10-50% δεν συνιστάται η χρήση τέτοιου είδους συστήματος για μικρά ηλιακά πάνελ λόγω των υψηλών ενεργειακών απωλειών στα συστήματα οδήγησης. Συμπερασματικά αυτού του είδους συστήματα προτείνονται όταν προσφέρονται μεγάλες εκτάσεις γης για την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών ή όταν η ηλιοφάνεια σε μια περιοχή δεν είναι διαρκής και αποδίδουν αισθητά πιο ικανοποιητικά από τα σταθερά κλασσικού τύπου φωτοβολταϊκά. Επιπλέον το γεγονός ότι δεν έχουν ευρεία εφαρμογή ακόμα τα καθιστά μια ιδιαίτερα δαπανηρή επένδυση (30% προσεγγιστικά αυξημένο κόστος σε σχέση με του συμβατικού τύπου Φ/Β).



Σχήμα 2.13: Sun Tracking Solar System
(Πηγή: <https://www.solaire.gr>)

2.3.2 Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού-Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ)

Είναι συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από το ίδιο καύσιμο, ώστε να επιτυγχάνεται η πλήρης εκμετάλλευση τους. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με παράλληλη εκμετάλλευση της αποβαλλόμενης θερμότητας για θέρμανση και ψύξη, οπότε μπορούν να θεωρηθούν ολοκληρωμένα ενεργειακά συστήματα καλύπτοντας όλες τις τελικές ενεργειακές χρήσεις (ηλεκτρισμό, θερμό νερό, ατμό, θερμό αέρα, ψυχρό νερό, κλιματισμό, ψύξη εμπορευμάτων κ.α.).

Ο σταθμός συμπαράγωγής ηλεκτρισμού - θερμότητας παράγει ατμό, θερμό αέρα και θερμό νερό που χρησιμοποιούνται στην παραγωγική διαδικασία καθώς και ηλεκτρική ενέργεια για χρήση ή/και πώλησης μέρους αυτής στον αρμόδιο διαχειριστή ενέργειας. Με την χρήση ψυκτών απορρόφησης, μέρος της παραγόμενης θερμότητας δημιουργεί ψυχρό νερό για κλιματισμό και ψύξη. (Πηγή: <https://www.depa.gr>)

Σε μεγάλα κτίρια, όπως ξενοδοχεία, κτίρια γραφείων, κλπ., η εγκατάσταση συστημάτων ΣΗΘΥΑ αποτελεί καλή λύση. Ο βαθμός απόδοσης μπορεί να υπερβεί το 90%, ενώ η θερμότητα που αποβάλλεται χρησιμοποιείται κατά τη χειμερινή περίοδο για τη θέρμανση κτιρίων ή για την παραγωγή θερμού νερού χρήσης, ενώ κατά τη θερινή περίοδο πρέπει να εγκατασταθούν ψυκτικές μονάδες απορρόφησης για την παραγωγή ψυχρού νερού, το οποίο χρησιμοποιείται για θερινό κλιματισμό.

2.3.3 Βιομάζα & Τηλεθέρμανση

Ο όρος *βιομάζα* χρησιμοποιείται για κάθε οργανικό υλικό (ζωικό ή φυτικό) που παράγει ενέργεια κατά την καύση του. Στις κατοικίες χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα για την καύση της, όπως τζάκια, σόμπες και συστήματα κεντρικής θέρμανσης τα οποία καταναλώνουν διάφορα είδη βιομάζας (καυσόξυλα, και υπολείμματα βιομηχανιών επεξεργασίας τροφίμων). Τα τελευταία χρόνια λόγω της οικονομικής κρίσης η χρήση της βιομάζας στα κτίρια για τη θέρμανση τους επεκτάθηκε, (λόγο του σημαντικά μικρότερου κόστους της έναντι του πετρελαίου και του φυσικού αερίου) ιδίως σε μη αστικές περιοχές. Η καύση της βιομάζας έχει μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου - επειδή οι ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που απελευθερώνονται κατά την καύση της δεσμεύονται πάλι από τα φυτά για την επαναδημιουργία της.

Όσον αφορά τον κτιριακό τομέα, διαδεδομένη είναι και η χρήση βιομάζας για *Τηλεθέρμανση*, δηλαδή παροχή θέρμανσης χώρων και θερμού νερού χρήσης σε ένα σύνολο κτιρίων από έναν κεντρικό σταθμό παραγωγής θερμότητας, μέσω ενός δικτύου μονωμένων αγωγών.

Στον σταθμό παραγωγής θερμότητας είναι εγκατεστημένοι ειδικοί λέβητες στους οποίους καίγεται βιομάζα και παράγεται θερμό νερό που μεταφέρεται με πλήρως αυτοματοποιημένα συστήματα τροφοδοσίας στο δίκτυο διανομής με την βοήθεια αντλιών και να καταλήξει εν τέλει στις εσωτερικές εγκαταστάσεις θέρμανσης των κτιρίων (δίκτυο σωληνώσεων και θερμαντικά σώματα).

Στην Ελλάδα η χρήση βιομάζας και βιοαερίου ως ανανεώσιμες μορφές παραγωγής ενέργειας έχει πολλά περιθώρια ανάπτυξης, με τη μεγαλύτερη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας να είναι του ΧΥΤΑ των Άνω Λιοσίων. Ένα πολύ σημαντικό έργο αναμένεται, βέβαια, να ολοκληρωθεί το 2021 στην περιοχή του Αμύνταιου, και αφορά στη δημιουργία δύο λεβήτων των 30MW βιομάζας, οι οποίοι θα καλύψουν τις ανάγκες των κατοίκων για θέρμανση και θα αντικαταστήσουν τους ήδη υφιστάμενους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς.

(Πηγή: <https://www.energia.gr>)

2.3.4 Αιολική Ενέργεια

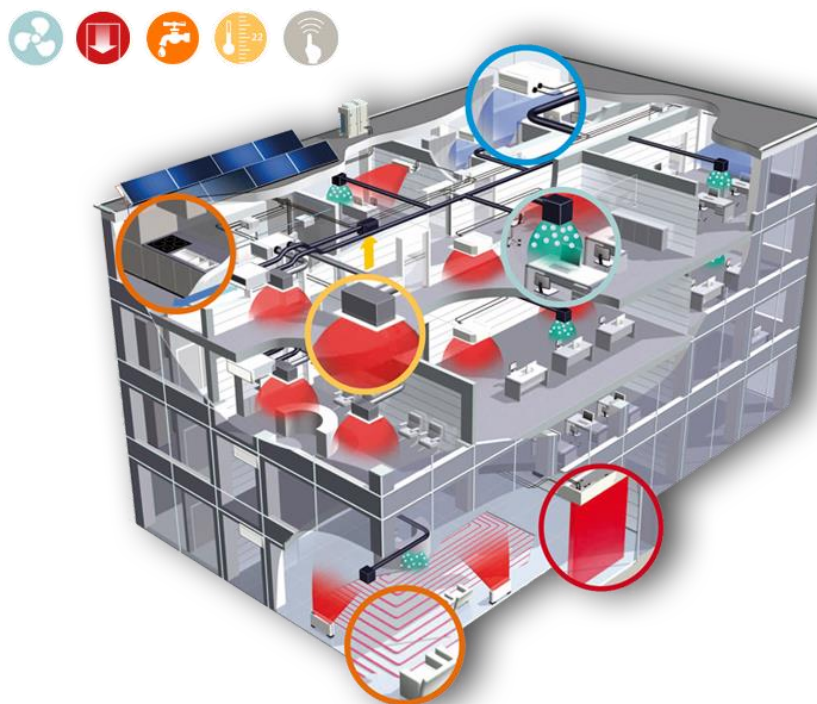
Αποτελεί μια μορφή ΑΠΕ, αρκετά διαδεδομένη στην Ελλάδα αλλά αρκετά περιορισμένη στον κτιριακό τομέα. Οι ανεμογεννήτριες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική, και είναι ικανές να συμβάλλουν σημαντικά στην κάλυψη των ενεργειακών καταναλώσεων των κτιρίων είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό με άλλα συστήματα ΑΠΕ, όπως τα φωτοβολταϊκά. Διακρίνονται σε διάφορα μεγέθη ανάλογα με την ονομαστική τους ισχύ, με αυτές έως 10 kW (μικρές) να θεωρούνται κατάλληλες για την κάλυψη ηλεκτρικών αναγκών στον κτιριακό τομέα, καθώς μπορούν υπό προϋποθέσεις να εγκατασταθούν εντός του αστικού περιβάλλοντος. Υψηλές διαμορφώσεις της μορφολογίας του εδάφους προτιμώνται (λόφοι έναντι πεδινών εκτάσεων) και θα πρέπει το ύψος τους να είναι μεγαλύτερο από τα παρακείμενα κτίρια.

Υπάρχουν δύο τύποι Α/Γ, οριζόντιου και κάθετου άξονα περιστροφής, με τις μεν πρώτες να έχουν επικρατήσει λόγω υψηλότερου βαθμού απόδοσης (35-40%), αλλά τις δεύτερες να ενσωματώνονται πολύ πιο αποτελεσματικά στο αστικό περιβάλλον και να είναι οικονομικότερες.



Σχήμα 2.13: Ανεμογεννήτριες Κάθετου και Οριζόντιου προσανατολισμού
(Πηγή: <https://www.oleng.eu>)

2.3.5 Ολοκληρωμένο Σύστημα Κλιματισμού VRV



Σχήμα 2.14 : Απεικόνιση Συστήματος VRV
(Πηγή: <https://www.daikin.gr>)

Πρόκειται για ένα σύγχρονο ολοκληρωμένο σύστημα κλιματισμού με συσκευές τελευταίας τεχνολογίας που συμβάλει στην σταθερή σε επιθυμητά επίπεδα διατήρηση της θερμοκρασίας του χώρου με τις ελάχιστες δυνατές απαιτήσεις σε ρεύμα, κυρίως σε επαγγελματικούς χώρους. Χάρη στην άκρως αποδοτική τεχνολογία μεταβαλλόμενης ψύξης και ανάκτησης θερμότητας Variable Refrigerant Volume (VRV), τα VRV συστήματα αποτελούν μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για τη θέρμανση, την ψύξη, τον εξαερισμό και την παροχή ζεστού νερού, προσαρμόζοντας αυτόματα τη θερμοκρασία του ψυκτικού ανάλογα με το φορτίο και προσφέροντας βέλτιστη άνεση και αύξηση της εποχιακής απόδοσης κατά έως και 28% σε σύγκριση με άλλες λύσεις (Σχήμα 2.14).

Τα έξυπνα συστήματα ελέγχου διαχείρισης ενέργειας που υπάρχουν στο σύστημα VRV επιτρέπουν τον ακριβή έλεγχο πολλαπλών ζωνών, όπως διαφορετικών ορόφων και χώρων, για τη μείωση της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης αλλά και του κόστους λειτουργίας (Σχήμα 2.15)



Σχήμα 2.15 : Σύστημα Διαχείρισης Κτιρίου(BMS) και Ελέγχου Πολλαπλών Χώρων
(Πηγή: <https://www.daikin.gr>)

Η χρήση της τεχνολογίας μεταβλητών στροφών (Inverter) επιτρέπει την ακόμα μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας καθώς αυξάνει βαθμιαία την ισχύ που απαιτείται για να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία και βοηθάει στην επίτευξη συνολικά υψηλότερης βαθμολογίας στο Score System της πιστοποίησης LEED.

Εξωτερικές Μονάδες

Ένα σύστημα VRV μπορεί να αποτελείται αρχικά από την Αερόψυκτη Εξωτερική Μονάδα, στην οποία η θερμότητα που αποβάλλεται από τις εσωτερικές μονάδες σε λειτουργία ψύξης μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί για να παραχθεί ζεστό νερό ή για να θερμανθούν άλλα δωμάτια, αυξάνοντας έτσι την ενεργειακή απόδοση του συστήματος και περιορίζοντας τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Ακόμα μια επιλογή είναι η Υδρόψυκτη Εξωτερική Μονάδα, ιδανική επιλογή για πολυώροφα κτίρια στα οποία οι μέγιστες αποστάσεις σωλήνων ψυκτικού μπορεί κάποιες φορές να προκαλέσουν προβλήματα στη χρήση ενός αερόψυκτου συστήματος, αλλά και σε κτίρια τα οποία δεν έχουν επαρκή χώρο στέγης ή εξωτερικό χώρο για τις εξωτερικές μονάδες.

Εσωτερικές Μονάδες

Οι εσωτερικές μονάδες είναι, επίσης, φιλικές για το χρήστη, έχουν αθόρυβη λειτουργία, είναι εξαιρετικά αξιόπιστες και ελέγχονται εύκολα μέσω των συστημάτων έξυπνης διαχείρισης (BMS).

Ενδεικτικά αναφέρεται η *κασέτα κυκλικής ροής της Daikin*, που διαθέτει ένα πάνελ με αυτοκαθαριζόμενο φίλτρο, μειώνοντας έτσι το κόστος συντήρησης και αυξάνοντας την αποδοτικότητα έως και 50%. Η έξοδος αέρα 360° εξασφαλίζει ομοιόμορφη διανομή αέρα και θερμοκρασίας, ενώ αισθητήρες δαπέδου εξασφαλίζουν ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας μεταξύ οροφής-δαπέδου. (Σχήμα 2.16)

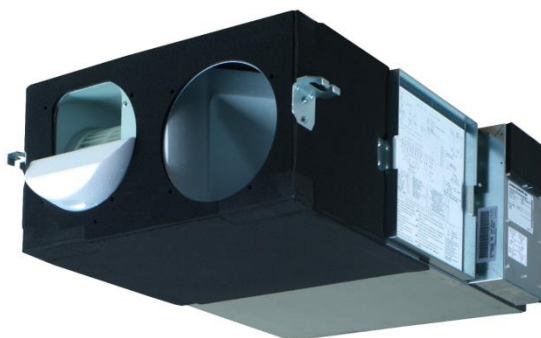
Υπάρχουν επίσης οι *επιδαπέδιες μονάδες*, ιδανικές για ψηλοτάβανους χώρους, αλλά και οι *αεροκουρτίνες* που εγκαθίστανται πολύ εύκολα και βοηθούν στη μείωση κατανάλωση ενέργειας, σε σύγκριση με τα τυπικά ηλεκτρικά μοντέλα. Η ενσωμάτωση της αεροκουρτίνας Daikin στο σύστημα κλιματισμού του χώρου γίνεται εύκολα και δεν απαιτεί επιπλέον κόστος εγκατάστασης, όπως πρόσθετα συστήματα νερού, συστήματα σωληνώσεων ή λέβητες. Οι απώλειες σε θερμότητα θα μειωθούν κατά 80-85%, ενώ επειδή είναι 72% πιο αποδοτική σε σύγκριση με τα τυπικά ηλεκτρικά μοντέλα, επενδύοντας σε μια αεροκουρτίνα Biddle μειώνεται σημαντικά η κατανάλωση ενέργειας και το κόστος λειτουργίας.

Μια ακόμη καλή επιλογή είναι και η *επίπεδη κασέτα οροφής*, ιδανική για μεσαία έως μεγάλα κτίρια, η οποία ενσωματώνεται πλήρως επίπεδα μέσα στην οροφή και ταιριάζει απόλυτα για ψευδοροφές. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν έξυπνοι αισθητήρες που ανιχνεύουν την παρουσία ατόμων στο χώρο και ανάλογα απενεργοποιούν το σύστημα ψύξης-θέρμανσης.



Σχήμα 2.16 : Πλήρως Επίπεδη Κασέτα
(Πηγή: <https://www.daikin.gr>)

Όσον αφορά τον εξαερισμό στο σύστημα VRV, πιο διαδεδομένη επιλογή θεωρείται αυτός με ανάκτηση θερμότητας (HRV), που εξασφαλίζει μια ροή εισερχόμενου νωπού αέρα και εξερχόμενου ακάθαρτου αέρα (fan coil unit-FCU-Σχήμα 2.17).



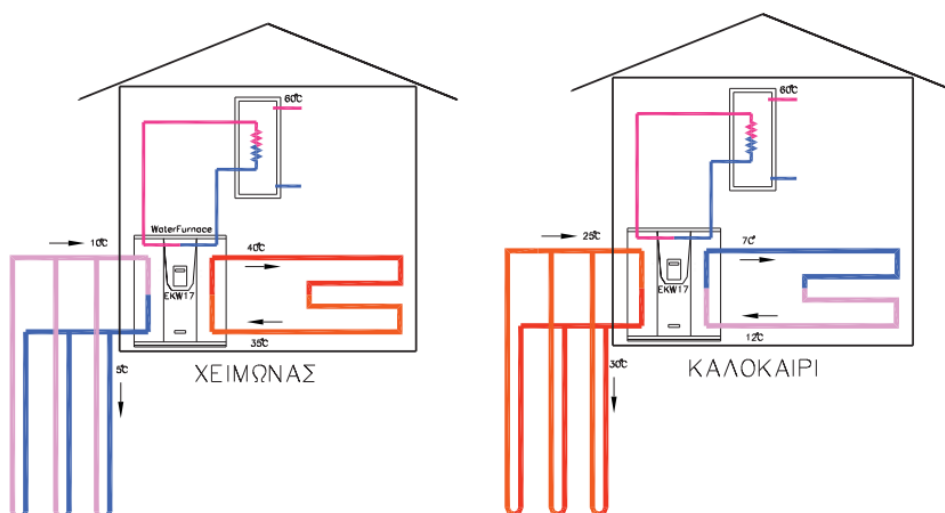
Σχήμα 2.17 : Σύστημα Εξαερισμού με ανάκτηση θερμότητας
(Πηγή: <https://www.daikin.gr>)

2.3.6 Γεωθερμία & Αντλίες Θερμότητας

Η *γεωθερμία* είναι μια ήπια και πρακτικά ανεξάντλητη ενεργειακή πηγή, που μπορεί με τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες να καλύψει ανάγκες θέρμανσης και ψύξης, αλλά και σε ορισμένες περιπτώσεις να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού ή ατμού, ποικίλει από περιοχή σε περιοχή, οπότε σε ότι αφορά τις εφαρμογές της γεωθερμίας:

- ✓ Για θερμοκρασίες άνω των 100°C χρησιμοποιείται στην ηλεκτροπαραγωγή, θέρμανση χώρων με σώματα, ψύξη χώρων με αντλίες θερμότητας ρόφησης, παραγωγή ζεστού νερού σε μπόιλερ.
- ✓ Για μικρότερες θερμοκρασίες περιορίζεται σε θέρμανση χώρων (αερόθερμο νερό ή ενδοδαπέδια θέρμανση) και παραγωγή ζεστού νερού με εναλλακτή θερμότητας.
- ✓ Για θερμοκρασίες κάτω από 40°C , γνωστή και ως *αβαθής γεωθερμία*, χρειάζονται αντλίες θερμότητας για κλιματισμό και θέρμανση ενώ αν δεν υπάρχει υπόγειο νερό διαθέσιμο χρησιμοποιούνται εναλλάκτες θερμότητας.

Το σύστημα αποτελείται από τρία μέρη το μέρος του εδάφους (γεωεναλλάκτης), το «ψυγείο» (γεωθερμική αντλία θερμότητας) και το εσωτερικό σύστημα διανομής στο κτίριο (ενδοδαπέδια, fan coil, ζεστά νερά χρήσης κτλ). Το θερμοκρασιακό επίπεδο του οποίου γίνεται χρήση για θέρμανση χώρων και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης είναι σχετικά χαμηλό από 25°C – 80°C . Ενώ μπορούμε να εκμεταλλευτούμε και θερμοκρασίες μικρότερες των 25°C προκειμένου να τις χρησιμοποιήσουμε για παραγωγή ψύξης στο χώρο μας. Αν αξιοποιηθεί αυτή η διαφορά θερμοκρασίας, μπορούν να θερμανθούν οι χώροι το χειμώνα και να τους ψυχθούν αντίστοιχα το καλοκαίρι, με τη χρήση μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας. Το χειμώνα, το ρευστό που κυκλοφορεί μέσα στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη, απορροφά την αποθηκευμένη στο έδαφος θερμότητα και την οδηγεί μέσα στο κτίριο. Το καλοκαίρι, το σύστημα αντιστρέφεται, απάγει τη θερμότητα από το κτίριο, τη μεταφέρει στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη και την αποθέτει στην γη. Έτσι πραγματοποιείται εναλλαγή θερμότητας μεταξύ του εδάφους και των εσωτερικών χώρων του κτιρίου. (Σχήμα 2.18)



Σχήμα 2.18: Γεωθερμικές αντλίες Θερμότητας
(Πηγή: <https://www.eneroots.gr>)

✓ Οριζόντιος Κλειστός Βρόγχος

Αναπτύσσεται ένα κλειστό κύκλωμα σωληνώσεων σε βάθος 1 έως 2m εκτός του περιγράμματος του κτιρίου, και σε ελεύθερο μελλοντικά χώρο από δέντρα και υπερκείμενες κατασκευές. Συστήνεται να εφαρμόζεται σε μονοκατοικίες σε μεγάλα οικόπεδα εκτός σχεδίου δόμησης. Η μέθοδος αυτή αποδίδει προσεγγιστικά 40 W/m² εδάφους.

✓ Κατακόρυφος Κλειστός Βρόγχος

Αναπτύσσεται ένα κλειστό κύκλωμα σωληνώσεων εντός κατακόρυφων γεωτρήσεων συνήθως 100m έκαστη. Εάν δεν υπάρχει διαθέσιμος ακάλυπτος χώρος οι γεωτρήσεις θα πρέπει να προβλεφθούν να γίνουν πριν την κατασκευή του κτιρίου. Συνήθως χρησιμοποιείται σε μεγάλες εγκαταστάσεις όπου η απαιτούμενη ανάγκη δεν μπορεί να καλυφθεί από ένα οριζόντιο κύκλωμα και σε περιπτώσεις που υπάρχει έλλειψη διαθέσιμου περιβάλλοντα χώρου όπως σε αστικά κέντρα με βάθος εκσκαφής από 50 έως 130 m. αυτή η μορφή αποτελεί και την πιο δαπανηρή.

✓ Ανοικτός Οριζόντιος Βρόγχος

Η απορρόφηση της θερμότητας δεν γίνεται από το δίκτυο σωληνώσεων που έρχεται σε επαφή με το έδαφος αλλά απευθείας από τα υπόγεια νερά τα οποία αντλούνται έως το μηχανοστάσιο και την αντλία θερμότητας. Το ανοικτό κύκλωμα αποτελεί την οικονομικότερη επιλογή στις περιπτώσεις όπου το νερό έχει βάθος άντλησης μικρότερο από 50m και είναι εξασφαλισμένη η αδιάλειπτη παροχή του σε όλες τις περιόδους του έτους. Για κάθε 100m² κτιρίου απαιτείται εξασφαλισμένη παροχή νερού περίπου 1m³/h.

Συμπερασματικά, χρησιμοποιώντας αυτήν την ΑΠΕ μπορεί να εξοικονομηθεί το 65-70 % των αναγκών για την ετήσια ενέργεια θέρμανση και παραγωγή ζεστών νερών χρήσεις μιας κατοικίας, αφού οι κατάλληλα σχεδιασμένες γεωθερμικές αντλίες θερμότητας εξασφαλίζουν λειτουργία με πολύ υψηλότερη απόδοση και οικονομία από τα συμβατικά κλιματιστικά και καυστήρες. Επιπλέον, δεν απαιτούνται σύνθετα συστήματα έλεγχου για να διατηρήσουν την άνεση και την αποδοτικότητα, έχουν χαμηλό κόστος συντήρησης, δεν απαιτούνται βοηθητικά συστήματα. Το μειονέκτημά τους σε σχέση βέβαια με τα συμβατικά καύσιμα είναι κυρίως, ότι για οικιακή χρήση το αρχικό κόστος εγκατάστασης είναι περίπου το διπλάσιο.

3 ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΓΡΑΦΕΙΩΝ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αναλύονται οι εκτιμήσεις και ενεργειακές παραδοχές που έγιναν για την ανέγερση ενός Νέου Κτιρίου Γραφείων, περιγράφεται η αρχιτεκτονική δομή, ο φέροντας οργανισμός και τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν, με σκοπό να λειτουργεί με γνώμονα την αειφορία του και παράλληλα ξεκινά η διαδικασία του στατικού σχεδιασμού του.

3.1 Γενικά Χαρακτηριστικά

3.1.1 Περιγραφή

Το Κτίριο Γραφείων θα ανεγερθεί στη Λυκόβρυση Αττικής, σε σημείο χωρίς μεγάλη πολεοδόμηση και τα γειτονικά κτίρια είναι χαμηλότερου υψομέτρου, οπότε δεν παρεμποδίζεται ο φυσικός ηλιασμός του, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1



Σχήμα 3.1: Υποθετικό οικόπεδο ανέγερσης κτιρίου, Λυκόβρυση Αττικής
(Πηγή: <https://www.google.gr/maps>)

Βάσει όσων αναφέρθηκαν προηγουμένως ως προς τις βιοκλιματικές τεχνικές σχεδιασμού, αποφασίζεται ένα επίμηκες σχήμα 3^{ων} επιπέδων και διαστάσεων:

- ✓ 40m μήκος,
- ✓ 18m πλάτος,
- ✓ 3,65m ύψος κάθε ορόφου (συνολικό ύψος = 10,95m)

Η κατασκευή προσανατολίζεται στο νότο (με μια μικρή κλίση δυτικά) για μέγιστη εκμετάλλευση του νότιου ηλιασμού και επίτευξη βόρειου δροσισμού (τα κουφώματα εκεί θα είναι ανοιγόμενα). Προβλέπεται μη βατό φυτεμένο δώμα, στο κέντρο του οποίου θα υπάρχει κεκλιμένο 30° τμήμα στέγης -διαστάσεων [8m*6m] και νότιου προσανατολισμού- το οποίο θα εξυπηρετεί τις ανάγκες για φυσικό φωτισμό και εκμετάλλευση ηλιακής ενέργειας.

Σε ότι αφορά την εσωτερική αρχιτεκτονική, η πρόσβαση στο Κτίριο Γραφείων προβλέπεται από τη βόρεια πλευρά του ισογείου, μαζί με τους 3όροφους ανελκυστήρες, ενώ το κλιμακοστάσιο συναντάται στο κεντρικό τμήμα της νότιας πλευράς.

Στο κεντρικό τμήμα του κτιρίου προβλέπεται εσωτερικό αίθριο (διαστάσεων 8m*6m) που εκτείνεται σε όλο το ύψος της κατασκευής καταλήγοντας στην κεκλιμένη οροφή, προσφέροντας έτσι άπλετο φυσικό φώς στο εσωτερικό.

Οι χρήσεις του κτιρίου ανά όροφο είναι οι εξής:

Ισόγειο:

- ✓ Αποθηκευτικοί χώροι, τυπογραφείο και λοιποί βοηθητικοί χώροι στη βόρεια πλευρά που δεν έχει μεγάλες απαιτήσεις φωτισμού.
- ✓ Κοινόχρηστοι χώροι εργασίας νοτιοανατολικά και νοτιοδυτικά.
- ✓ Κουζίνα, εστιατόριο, WC και γραφείο στα δυτικά και ανατολικά.

1ος Όροφος:

- ✓ Κύριοι χώροι γραφείων νοτιοανατολικά και νοτιοδυτικά.
- ✓ Αίθουσες συνεδριάσεων δυτικά και ανατολικά.
- ✓ Βοηθητικοί χώροι και WC στη βόρεια πλευρά για ανάσχεση των ψυχρών βόρειων ανέμων.

2ος Όροφος:

- ✓ Χώροι γραφείων νοτιοδυτικά και νοτιοανατολικά.
- ✓ Αίθουσες συνεδριάσεων δυτικά και ανατολικά.
- ✓ Βοηθητικοί χώροι και WC βόρεια.

Επιπλέον, υπάρχει πρόβλεψη και για υπόγειο με βοηθητικούς χώρους ,εγκαταστάσεις Η/Μ εξοπλισμού και δεξαμενών, το οποίο αγνοήθηκε στα πλαίσια αυτής της μελέτης.

Το κέλυφος σε όλες τις όψεις του θα αποτελείται από αναρτημένο σύστημα Υαλοπετάσματος Curtain Wall υψηλής ενεργειακής απόδοσης και θερμομόνωσης, στο οποίο προβλέπονται ορισμένα οριζόντια σκίαστρα στη νότια πλευρά και κατακόρυφες περσίδες αλουμινίου ανατολικά και δυτικά, αντίστοιχα. Αν απαιτηθεί σκίαση νοτιοδυτικά και νοτιοανατολικά, αυτή θα γίνει με συνδυασμό οριζοντίων και κατακόρυφων σκίαστρων.

3.1.2 Φέρων Οργανισμός

Ο φέρων οργανισμός επιλέγεται μεταλλικός και πακτωμένος στη βάση του. Αποτελείται από:

- ✓ υποστυλώματα πλατύπελμων διατομών HEB,
- ✓ κύριες δοκούς πρότυπης διατομής IPE στις διευθύνσεις X και Y,
- ✓ σύμμικτες διαδοκίδες κατά Y και αυτές διατομής IPE,
- ✓ χιαστί συνδέσμους δυσκαμψίας ορθογωνικής διατομής RHS και
- ✓ σύμμικτη πλάκα από χαλυβδόφυλλο και έγχυτο οπλισμένο σκυρόδεμα.

Τα μεταλλικά στοιχεία συντίθενται από χάλυβα ποιότητας S355, ενώ χρησιμοποιείται σκυρόδεμα C20/25 στα σύμμικτα.

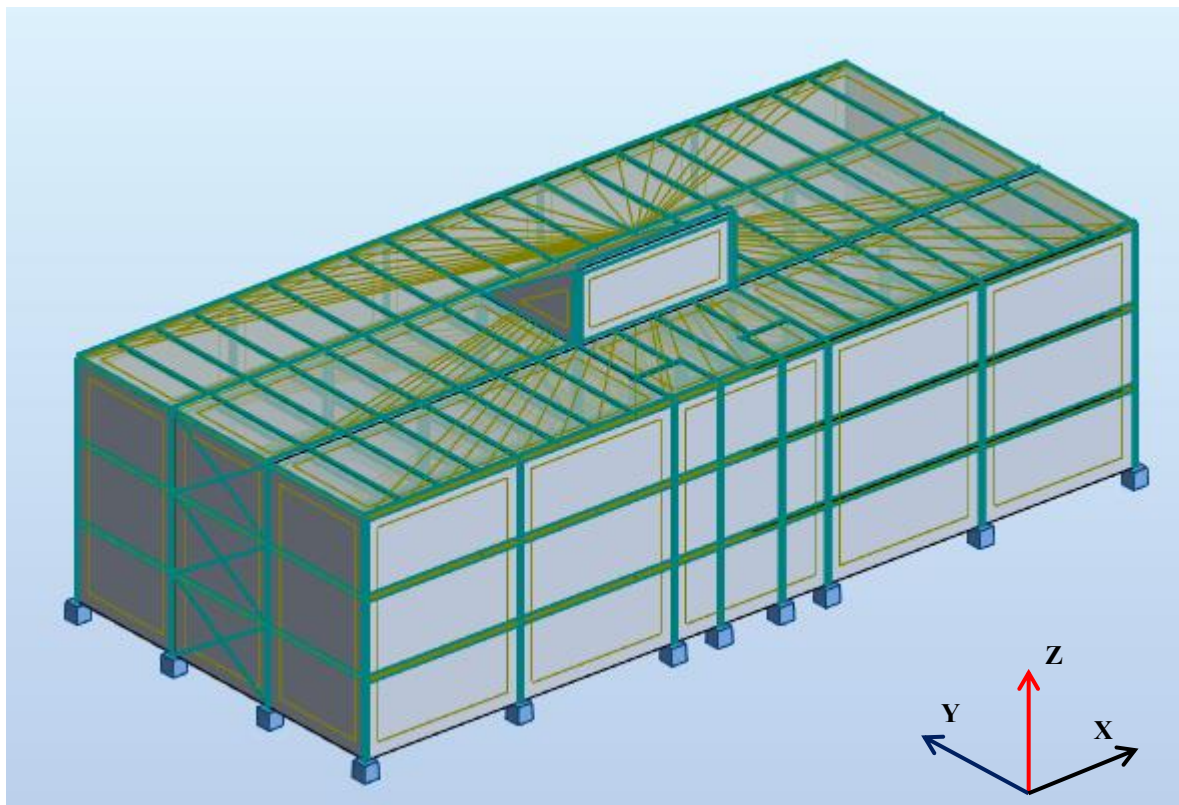
Για το σχεδιασμό της κατασκευής χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πρόγραμμα Robot της Autodesk, στο οποίο σχεδιάστηκε ο φέρων οργανισμός του κτιρίου και ύστερα από τις απαραίτητες αναλύσεις προέκυψαν οι τελικές διατομές των στοιχείων του.

Στην διεύθυνση (X) το κτίριο λειτουργεί σαν πλαίσιο ροπής, με συνολικά 4 πλαίσια ανά 6m. Στην άλλη διεύθυνση (Y) ,που ο σεισμός παραλαμβάνεται από τους χιαστί συνδέσμους δυσκαμψίας και την πλάκα που λειτουργεί σα διάφραγμα, συναντώνται 6 πλαίσια ανά 8m. Οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας χαρακτηρίστηκαν ως *truss bars* στο πρόγραμμα, δηλαδή στοιχεία δικτύωματος, ώστε να παραλαμβάνουν μόνο τις αξονικές δυνάμεις.

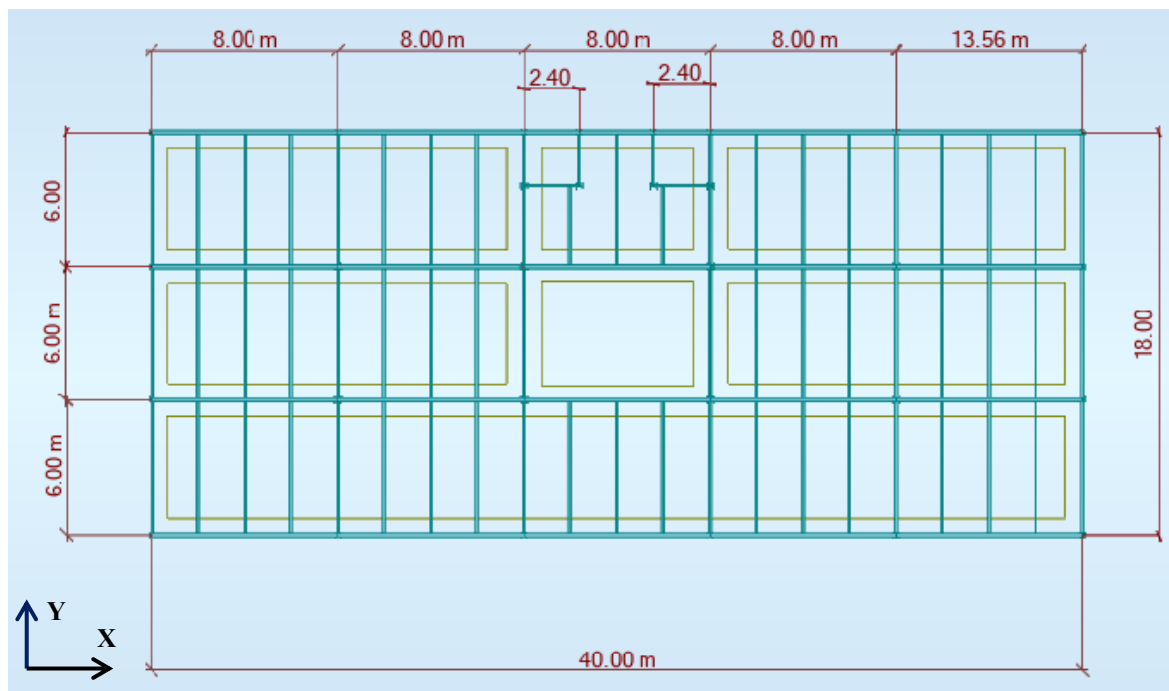
Η σύμμικτη πλάκα συνδέεται με τις σύμμικτες αμφιέριστες διαδοκίδες, οι οποίες είναι προσανατολισμένες κατά Y , κι έχουν πλάτος επιρροής $2m$, μέσω διατμητικών ήλων. Οι αμφιέριστες κύριες δοκοί κατά Y και οι διαδοκίδες, παραλαμβάνουν τα κατακόρυφα φορτία από τις σύμμικτες πλάκες, τα μεταφέρουν στις κύριες δοκούς κατά X και εκείνες στα υποστυλώματα. Οι συνδέσεις κυρίων δοκών Y με τα υποστυλώματα διαμορφώνονται στο κτίριο ως συνδέσεις τέμνουσας ώστε να μην συμμετέχουν στην παραλαβή της σεισμικής δύναμης και οι κύριες δοκοί X συνδέονται με τα υποστυλώματα με συνδέσεις ροής.

Για να επιτευχθεί η διαφραγματική λειτουργία χρησιμοποιήθηκε η εντολή *rigid links* με την οποία συνδέθηκαν όλοι οι κόμβοι κάθε ορόφου και δεσμεύτηκαν οι οριζόντιες μετακινήσεις U_x και U_y . Επιπλέον σε κάθε όροφο δημιουργήθηκε μια βοηθητική επιφάνεια (cladding), πάνω στην οποία εφαρμόζονται τα φορτία (τα μόνιμα και κινητά φορτία των ορόφων μετατράπηκαν σε γραμμικά και εφαρμόστηκαν στις δοκούς της διεύθυνσης Y). Το ίδιο χρειάστηκε και για τις εξωτερικές επιφάνειες του κτιρίου, ώστε να παραληφθεί το φορτίο του ανέμου. Οι επιφάνειες αυτές μετατρέπουν τα επιφανειακά φορτία σε γραμμικά στα φέρονται στοιχεία.

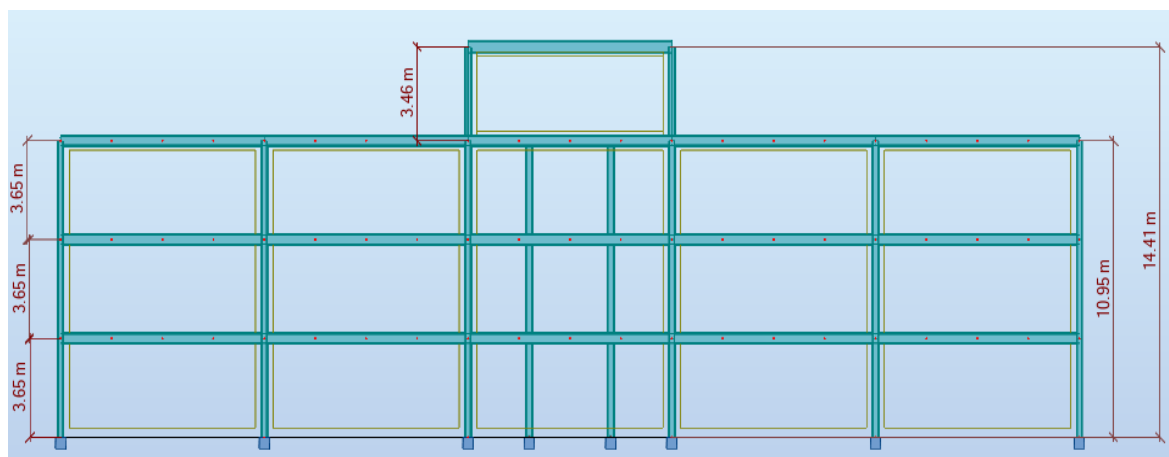
Στα Σχήματα 3.2 έως 3.7 φαίνεται η απεικόνιση του φορέα όπως προέκυψε από το πρόγραμμα Robot Structural Analysis.



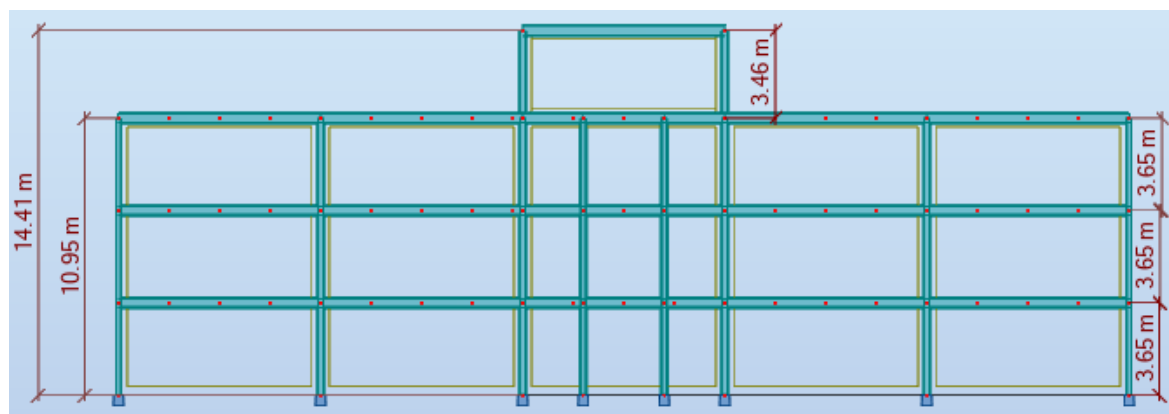
Σχήμα 3.2: Τρισδιάστατη απεικόνιση φορέα βορειοανατολικής όψης



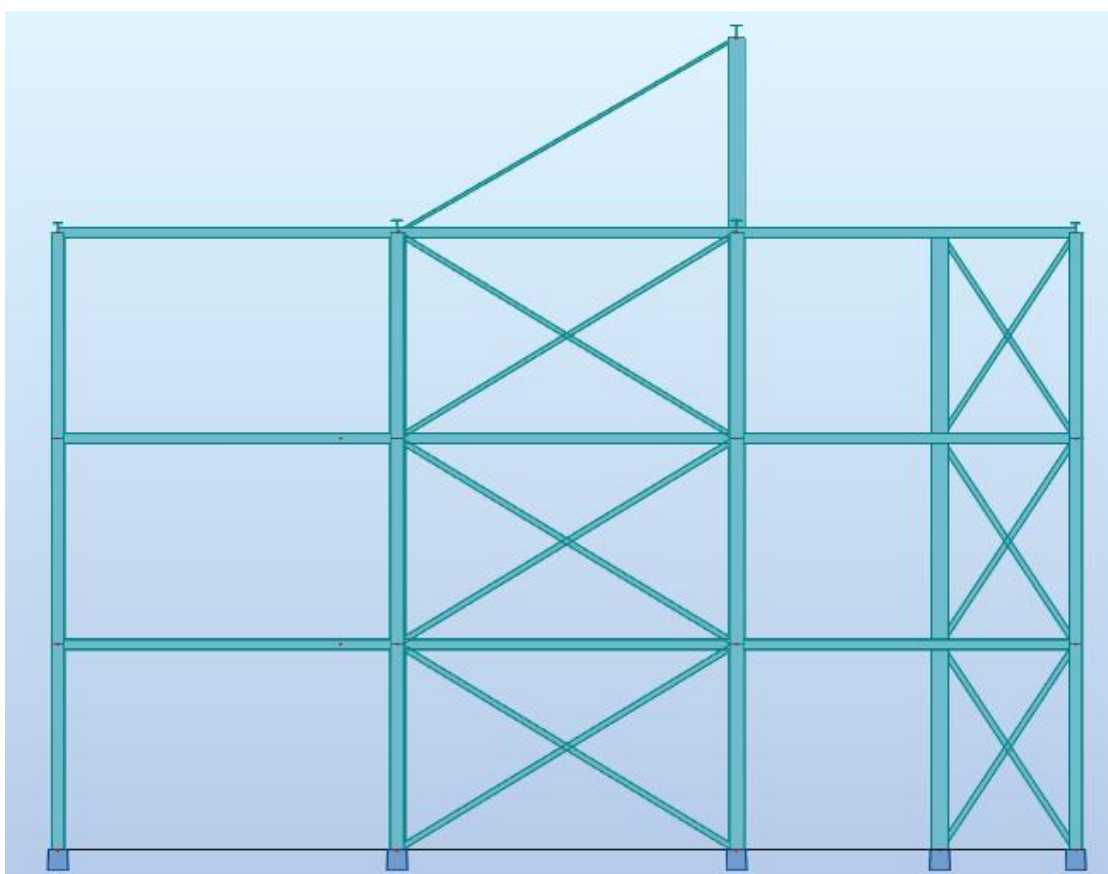
Σχήμα 3.3: Κάτοψη Κτιρίου Γραφείων



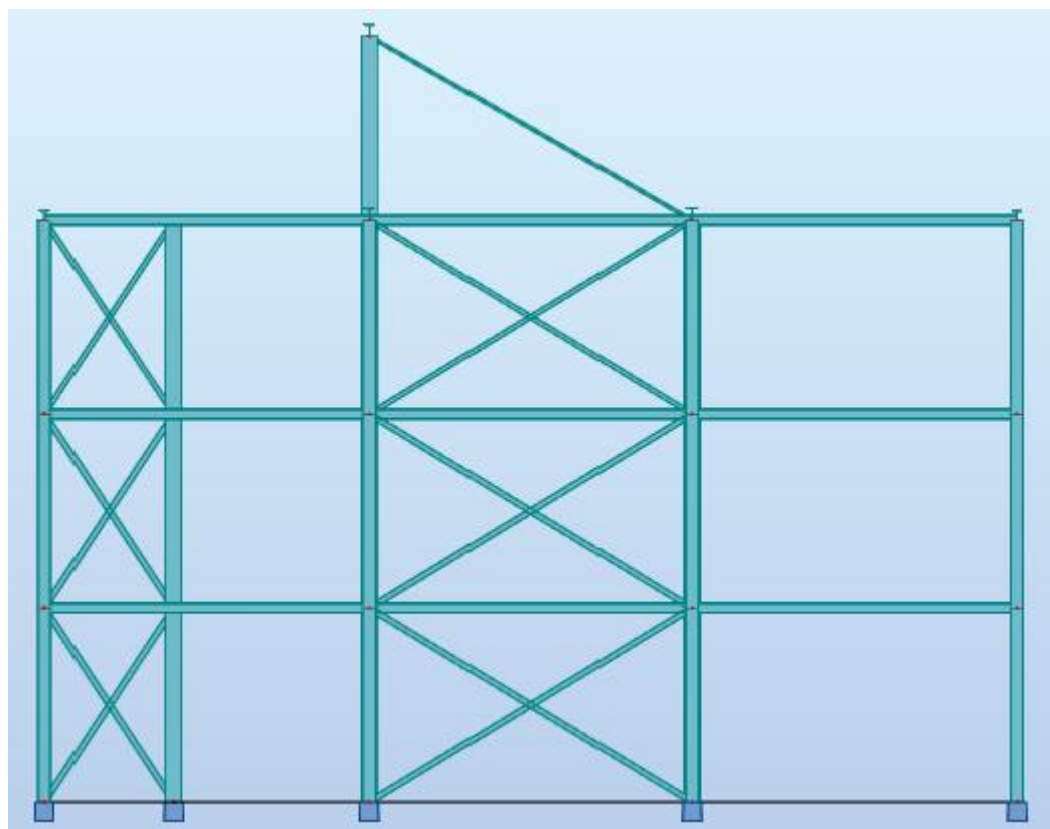
Σχήμα 3.4: Νότια Όψη Κτιρίου Γραφείων



Σχήμα 3.5: Βόρεια Όψη Κτιρίου Γραφείων



Σχήμα 3.6: Ανατολική Όψη Κτιρίου Γραφείων



Σχήμα 3.7: Δυτική Όψη Κτιρίου Γραφείων

3.2 Υλικά

3.2.1 Δομικός Χάλυβας

Οι ποιότητες και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των δομικών χαλύβων δίνονται στην ευρωπαϊκή προδιαγραφή EN 10025-2. Σε όλη την κατασκευή χρησιμοποιείται χάλυβας S355. Τα χαρακτηριστικά του χάλυβα που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζονται παρακάτω (σύμφωνα με τον [EN 1993-1-1:2005](#)):

- ✓ Μέτρο ελαστικότητας: $E_s=210 \text{ GPa}$
- ✓ Μέτρο διάτμησης: $G=E / 2(1+\nu)=80769 \text{ MPa}$
- ✓ Ειδικό βάρος: $\gamma=78,50 \text{ kN/m}^3$
- ✓ Όριο διαρροής: $f_y=355 \text{ MPa}$
- ✓ Εφελκυστική αντοχή: $f_u=510 \text{ MPa}$
- ✓ Σταθερά Poisson: $\nu_a=0,3$

3.2.2 Σκυρόδεμα

Η ποιότητα σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε για τη σύμμικτη πλάκα είναι κατηγορίας C 25/30 . Σύμφωνα με τον [Ευρωκώδικα 2, Μέρος 1-1](#) ισχύει:

- ✓ Χαρακτηριστική αντοχή: $f_{ck}=25 \text{ MPa}$
- ✓ Αντοχή σχεδιασμού: $f_{cd}=f_{ck} / \gamma_c, \gamma_c=1,5$
 $f_{cd}=16.66 \text{ MPa}$
- ✓ Μέτρο ελαστικότητας: $E_{cm}=31 \text{ GPa}$
- ✓ Λόγος Poisson: $\nu=0,2$
- ✓ Ειδικό βάρος: $\gamma=25 \text{ kN/m}^3$

3.2.3 Χάλυβας οπλισμού

Για τους οπλισμούς του σκυροδέματος στα σύμμικτα στοιχεία χρησιμοποιήθηκε χάλυβας B500C με χαρακτηριστική τιμή ορίου διαρροής $f_{yk}=500 \text{ MPa}$. Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά των χαλύβων σκυροδέματος είναι τα ίδια με αυτά του δομικού χάλυβα.

- ✓ Τάση σχεδιασμού: $f_{sd}=f_{ys} / \gamma_s, \gamma_s=1,15$

3.2.4 Σύστημα Υαλοπετάσματος υψηλής ενεργειακής απόδοσης

Επιλέγεται ένα ολοκληρωμένο σύστημα για υαλοπετάσματα υψηλής ενεργειακής απόδοσης τύπου Alumil με *Μέγιστο Βάρος* = 180 kg/m².

(Πηγή: <https://www.alumil.com>)

3.2.5 Υλικά Φυτεμένου Δώματος

Εφαρμόζεται Φυτεμένο Δώμα *Εκτατικού Τύπου*, κατάλληλο για οροφές μη προσβάσιμες, όπως στη συγκεκριμένη περίπτωση, και στο οποίο χρησιμοποιούνται φυτά που χρειάζονται ελάχιστη συντήρηση, αντέχουν στην ξηρασία και αναβλαστάνουν εύκολα.

Ύστερα από έρευνα εμπορίου, επιλέγεται το σύστημα υποδομής [*Floradrain® FD 25-E*](#), που είναι κατάλληλο για εφαρμογή σε πράσινα δώματα εκτατικού τύπου.

✓ Υπόστρωμα ανάπτυξης φυτών : $h_{\text{υπ}}=110\text{mm}$

✓ Βάρος Κορεσμένο: $108 \text{ kg/m}^2 = 1.06 \text{ kN/m}^2$

3.3 Δράσεις Σχεδιασμού

Ο φορέας σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να εξασφαλίζεται η αποδοτικότητά του, σε συνάρτηση και με την οικονομικότητα της κατασκευής. Απαραίτητος είναι ο καθορισμός των φορτίων που ασκούνται σε αυτήν και εξαρτώνται από τη θέση, τη μορφή και την εκάστοτε χρήση του κτιρίου και καθορίζονται από κανονιστικές διατάξεις, όπως στην παρούσα εργασία που οι υπολογισμοί έγιναν σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1 (EN 1991). Οι δράσεις ανάλογα με το χρόνο διακρίνονται σε:

1. Μόνιμες δράσεις (G)	2. Μεταβλητές δράσεις (Q)	3. Τυχηματικές δράσεις (A)
i. Ίδια βάρη κατασκευής ii. Λοιπά Μόνιμα	i. Κινητά φορτία ii. Δράσεις χιονιού iii. Δράσεις ανέμου	i. Σεισμικές δράσεις

3.3.1 Μόνιμες Δράσεις

Με τον όρο αυτό νοούνται όλες οι δράσεις, οι οποίες αναμένεται να επενεργήσουν κατά τη διάρκεια ζωής του έργου και για την οποία η διαφοροποίηση του μεγέθους τους στον χρόνο είναι αμελητέα. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται όλα τα κατακόρυφα φορτία όπως τα ίδια βάρη (φέροντα στοιχεία, τοίχοι πληρώσεως, ψευδοροφές, επικαλύψεις και επενδύσεις, επιστρώσεις και μονώσεις δαπέδων, ηλεκτρικά και υδραυλικά δίκτυα, κλιματιστικά συστήματα). Πιο συγκεκριμένα οι μόνιμες δράσεις που ασκούνται στο κτίριο είναι:

- I. *Ίδιο βάρος φερόντων μεταλλικών στοιχείων*: Όπως υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα ανάλυσης (Robot Structural Analysis) για χάλυβα με ίδιο βάρος $78,5\text{kN/m}^3$ και σκυρόδεμα με ίδιο βάρος $25,0\text{kN/m}^3$
- II. *Ίδιο βάρος σύμμικτων πλακών*: $g_{\text{πλ}}=2,73\text{kN/m}^2$, το οποίο υπολογίστηκε με το πρόγραμμα Symdeck Designer στο οποίο έγινε η διαστασιολόγηση της σύμμικτης πλάκας.
- III. *Πρόσθετα Μόνιμα 1^{ov}-2^{ov} ορόφου*: $g'_{\text{ορ}}=0,7 \text{ kN/m}^2$
- IV. *Πρόσθετα Μόνιμα οροφής*: $g_{\text{δώματος}}=2,6 \text{ kN/m}^2$, καθώς περιλαμβάνονται:
 - ✓ Φορτίο κορεσμένου χώματος: $g_{\text{χωμ.}}=1.06 \text{ kN/m}^2$
 - ✓ Πρόσθετα φορτία λόγω υποστρώματος φύτευσης, αποστραγγιστικών στοιχείων και φρεατίου: $g_{\text{πρ.}}=1.5 \text{ kN/m}^2$
- V. *Πρόσθετο φορτίο Υαλοπετάσματος*: $g_{\text{υαλ.}}=0,2 \text{ kN/m}^2$
(εισέρχεται περιμετρικά στις όψεις του κτιρίου)

3.3.2 Μεταβλητές Δράσεις

Περιλαμβάνουν τα κατακόρυφα φορτία [ομοιόμορφα διανεμημένα (q_k) ή συγκεντρωμένα (Q_k)], που οφείλονται είτε στην παρουσία ανθρώπων, είτε σε έπιπλα, κινητά αντικείμενα, μηχανήματα και οχήματα. Στην παρούσα διπλωματική δεν θα ληφθεί υπόψη το συγκεντρωμένο φορτίο Q_k .

Ανάλογα με την χρήση των κτιρίων γίνεται μία κατηγοριοποίηση βάσει του παρακάτω Πίνακα 3.1

Κατηγορία	Συγκεκριμένη Χρήση	Παράδειγμα
A	Χώροι για οικιακές δραστηριότητες	Δωμάτια σε κτίρια κατοικιών και σε στίπα. Θάλαμοι και πτέρυγες σε νοσοκομεία. Υπνοδωμάτια σε ξενοδοχεία και ξενώνες, κουζίνες και τουαλέτες.
B	Χώροι γραφείων	
C	Χώροι συνάθροισης ανθρώπων (με εξαίρεση τους χώρους που κατατάσσονται στις κατηγορίες A, B, D)	C1: Χώροι με τραπέζια π.χ. καφενεία, εσπιατόρια, σχολικοί χώροι.
		C2: Χώροι με σταθερά καθίσματα π.χ. χώροι σε εκκλησίες, θέατρα, αίθουσες συνεδριάσεων, χώροι αναμονής.
		C3: Χώροι χωρίς εμπόδια στη διακίνηση του κοινού π.χ. χώροι σε μουσεία, εκθεσιακοί χώροι κλπ., και χώροι πρόσβασης σε δημόσια και διοικητικά κτίρια, ξενοδοχεία και νοσοκομεία.
		C4: Χώροι για πιθανές κινητικές δραστηριότητες π.χ. αίθουσες χορού, γυμναστικής και θεατρικές σκηνές.
		C5: Χώροι προοριζόμενοι για μεγάλα πλήθη π.χ. για δημόσιες εκδηλώσεις όπως αίθουσες συναυλιών, κλειστά γήπεδα, εξέδρες γηπέδων, εξώστες.
D	Χώροι σε εμπορικά καταστήματα	D1: Χώροι σε καταστήματα λιανικής πώλησης.
		D2: Χώροι σε πολυκαταστήματα

Πίνακας 3.1: Κατηγορίες Χρήσης βάση κανονισμού

Αφού, το Κτίριο Γραφείων ανήκει στην **Κατηγορία B**, ενώ η οροφή στην **Κατηγορία H** (μη προσβάσιμη για χρήση), λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω τιμές ωφέλιμων φορτίων

(Πηγή: [εθνικό προσάρτημα EN 1991-1-1](#)):

- I. Ενδιάμεσοι Όροφοι: $q_1=3\text{kN/m}^2$
- II. Μεταβλητά Χωρίσματα: $q_2=0,7\text{ kN/m}^2$
- III. Οροφή: $q_3=0.6\text{ kN/m}^2$

3.3.3 Δράσεις Χιονιού

Το φορτίο λόγω χιονόπτωσης θεωρείται ως στατικό φορτίο και κατατάσσεται στις μεταβλητές καθορισμένες δράσεις (μόνο σε ορισμένες ειδικές περιπτώσεις θεωρούνται τυχηματικές). Ο υπολογισμός γίνεται βάσει του Ευρωκώδικα 1 – Μέρος 1.3 (EN 1991-1-3), σύμφωνα με τον οποίο το φορτίο χιονιού για μονοκλινή στέγη υπολογίζεται από τη σχέση:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (3.1)$$

όπου :

μ_i : συντελεστής μορφής φορτίου χιονιού

C_e : ο συντελεστής έκθεσης ο οποίος για κανονικές συνθήκες λαμβάνεται ίσος με 1, 00.

Ct : θερμικός συντελεστής, ο οποίος για κανονικές συνθήκες θερμικής μόνωσης λαμβάνεται ίσος με 1, 00.

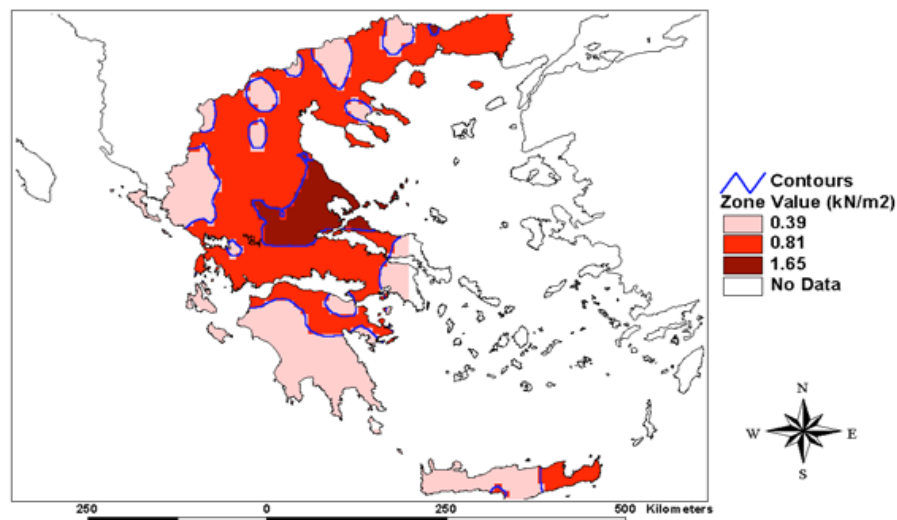
sk : η χαρακτηριστική τιμή φορτίου χιονιού επί του εδάφους, όπου:

$$s_k = s_{k,0} * (1 + (A / 917)^2) \text{ σε kN/m}^2 \quad (3.2)$$

Η τιμή $s_{k,0}$ προκύπτει από τη ζώνη στην οποία βρίσκεται η εκάστοτε κατασκευή σε σχέση με τη στάθμη της θάλασσας (για κατασκευές με υψόμετρο μικρότερο των 1500 m).

- Ζώνη I : $s_{k,0} = 0,4 \text{ kN/m}^2$
- Ζώνη II : $s_{k,0} = 0,8 \text{ kN/m}^2$
- Ζώνη III : $s_{k,0} = 1,7 \text{ kN/m}^2$

Greece: Snow Load at Sea Level



Σχήμα 3.8: Εθνικές ζώνες χιονιού (Παράρτημα C, EN 1991-1-3)

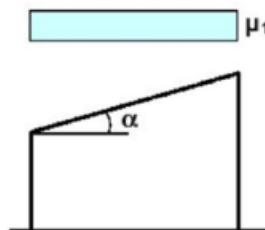
Στη συγκεκριμένη περίπτωση το Κτίριο Γραφείων βρίσκεται στη Λυκόβρυση, Αττικής ($A=230\text{m}$), οπότε, σύμφωνα με το Παράρτημα C του EN1991-1-3, προκύπτει:

Ζώνη II, άρα $\rightarrow s_{k,0} = 0,80 \text{ kN/m}^2$.

Συνεπώς, από τη Σχέση (3.2), προκύπτει: $s_k = 0,425 \text{ kN/m}^2$

3.3.3.1 Συντελεστής Μορφής Φορτίου Χιονιού

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η προβλεπόμενη διάταξη για το συντελεστή μορφής φορτίου σε μονοκλινείς στέγες.



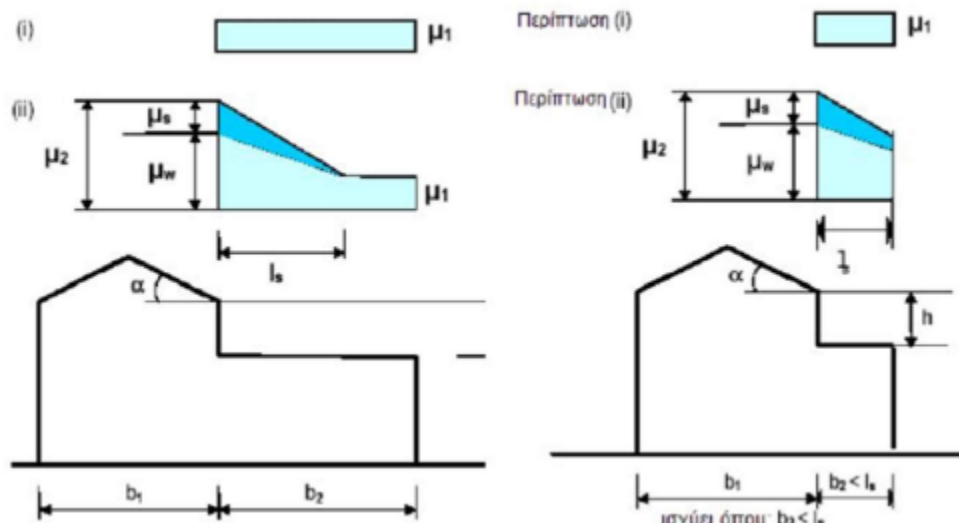
Σχήμα 3.9: Συντελεστής μορφής χιονιού σε μονοκλινείς στέγες

Ανάλογα με την γωνία κλίσης στέγης α υπάρχει και ο ανάλογος συντελεστής σχήματος που δίνεται στον Πίνακα 3.2.

Κλίση στέγης α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8 \cdot (60-\alpha)/30$	0
μ_2	$0,8 + 0,8 \cdot \alpha/30$	1,6	-

Πίνακας 3.2: Συντελεστής μορφής χιονιού

Για στέγες με απότομες αλλαγές ύψους, όπου είναι πιθανή η συγκέντρωση χιονιού λόγω ανέμου ή ολίσθησης από υψηλότερη στέγη, θα εξετάζονται οι περιπτώσεις που δίνονται στο Σχήμα 3.10.



Σχήμα 3.10: Συντελεστές μορφής σε στέγες με απότομη αλλαγή ύψους για $b_2 \geq l_s$ και $b_2 < l_s$

Οι συντελεστές μορφής είναι οι ακόλουθοι:

$\mu_1 = 0,80$ (η χαμηλότερη στέγη είναι επίπεδη)

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w \quad (3.3)$$

όπου,

μ_s : ο συντελεστής μορφής λόγω ολίσθησης και λαμβάνεται $\mu_s = 0$ για $\alpha \leq 15^\circ$.

μ_w : ο συντελεστής μορφής λόγω ανέμου και προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$\mu_w = (b_1 + b_2)/2 \cdot h \leq \gamma \cdot h/s_k, \text{ με } 0,8 \leq \mu_w \leq 4,0 \quad (3.4)$$

$\gamma = 2 \text{ kN/m}^3$, πυκνότητα χιονιού

Στη συγκεκριμένη περίπτωση : $b_1 = b_2 = 6\text{m}$

Μήκος Συγκέντρωσης: $l_s = 2 \cdot h = 2 \cdot 3.46\text{m} = 6.92\text{m}$ ($5\text{m} \leq l_s \leq 15\text{m}$)

όπως φαίνεται $l_s > b_2$, οπότε η κατανομή του φορτίου θα γίνει με βάση τη δεύτερη περίπτωση (τραπεζοειδής κατανομή) του Σχήματος 3.10

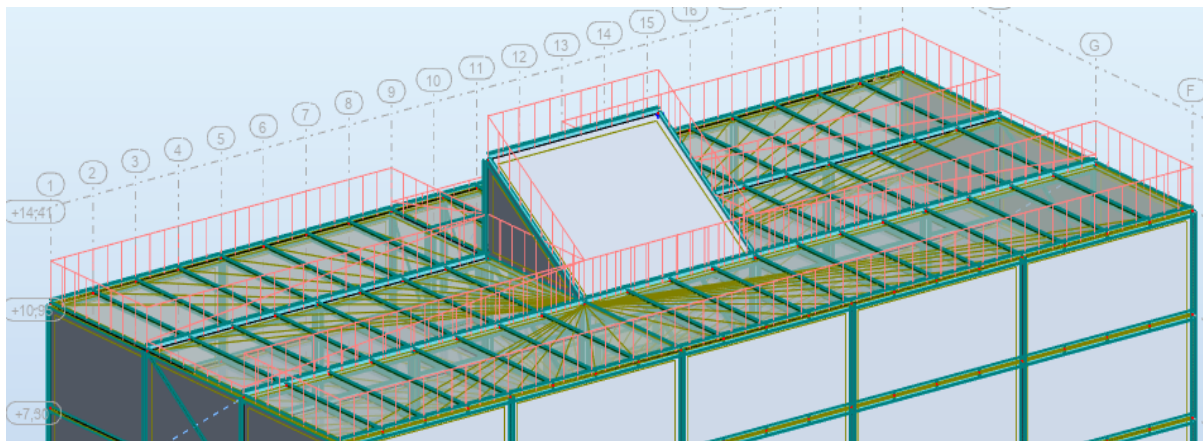
Άρα από τη σχέση (3.4) : $\mu_w = 3,46$

Και τελικά μέσω της σχέσης (3.3): $\mu_2 = 3,46$

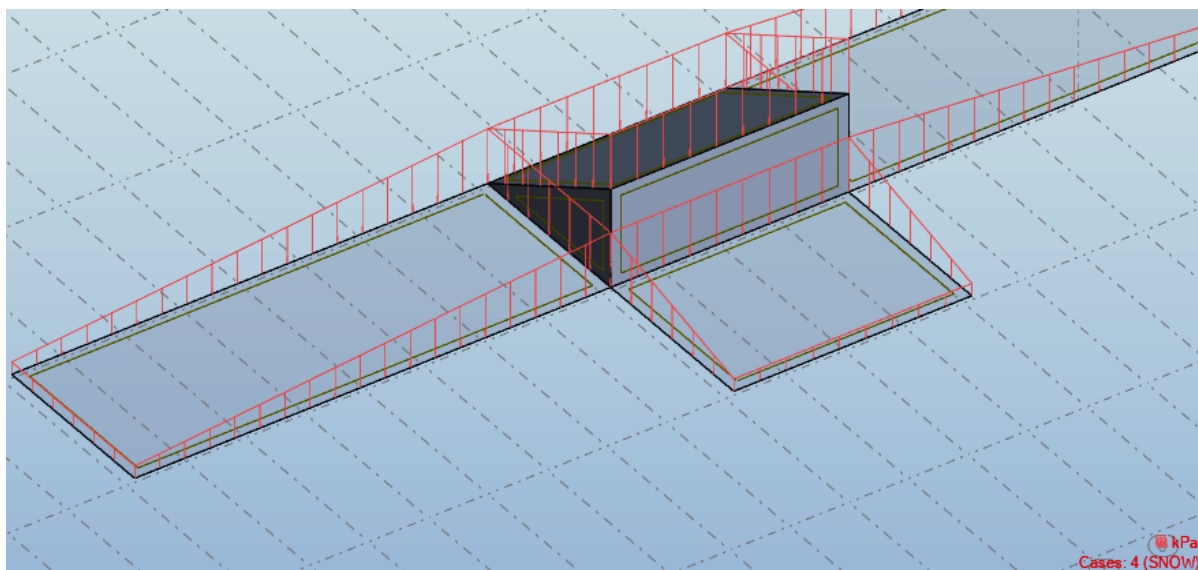
3.3.3.2 Τελικό Φορτίο Χιονιού

Μέσω της Σχέσης (3.1), προκύπτουν τα παρακάτω φορτία και η απεικόνισή τους φαίνεται στα Σχήματα 3.11 και 3.12:

- ✓ Σύνολο της οροφής εκτός της περιοχής πίσω και πλάι από το κεκλιμένη στέγη: $S_1=0,34\text{kN/m}^2$
- ✓ Τμήμα οροφής πίσω και πλάι από την κεκλιμένη στέγη: $S_2=1,5\text{kN/m}^2$



Σχήμα 3.11: Ομοιόμορφο Φορτίο χιονιού



Σχήμα 3.12: Φορτίο λόγω συγκέντρωσης χιονιού

3.3.4 Δράσεις Ανέμου

Από τις αναπτυσσόμενες πιέσεις λόγω του ανέμου προκύπτουν δυνάμεις κάθετες προς την προσβαλλόμενη επιφάνεια. Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1 (EN 1991-1-4), για κτίρια και έργα ύψους μέχρι 200m, οι δράσεις ανέμου στις κατασκευές κατατάσσονται στις μεταβλητές σταθερές δράσεις.

Διακρίνονται τέσσερις περιπτώσεις φόρτισης ανέμου:

- Άνεμος_0, για άνεμο κατά +X
- Άνεμος_90, για άνεμο κατά +Y
- Άνεμος_180, για άνεμο κατά -X
- Άνεμος_270, για άνεμο κατά -Y

Οι δράσεις του ανέμου επί των κατασκευών και δομικών στοιχείων πρέπει να προσδιορίζονται λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις εξωτερικές πιέσεις, όσο και τις εσωτερικές. Η πίεση του ανέμου που δρα σε εξωτερικές και εσωτερικές επιφάνειες λαμβάνονται από τις αντίστοιχες εξισώσεις:

$$W_e = q(z_e) * C_{pe} \quad (3.5)$$

$$W_i = q(z_i) * C_{pi} \quad (3.6)$$

Όπου:

z_e : Ύψος αναφοράς για την εξωτερική πίεση

z_i : Ύψος αναφοράς για την εσωτερική πίεση

C_{pe} : Συντελεστής πίεσης για την εξωτερική πίεση

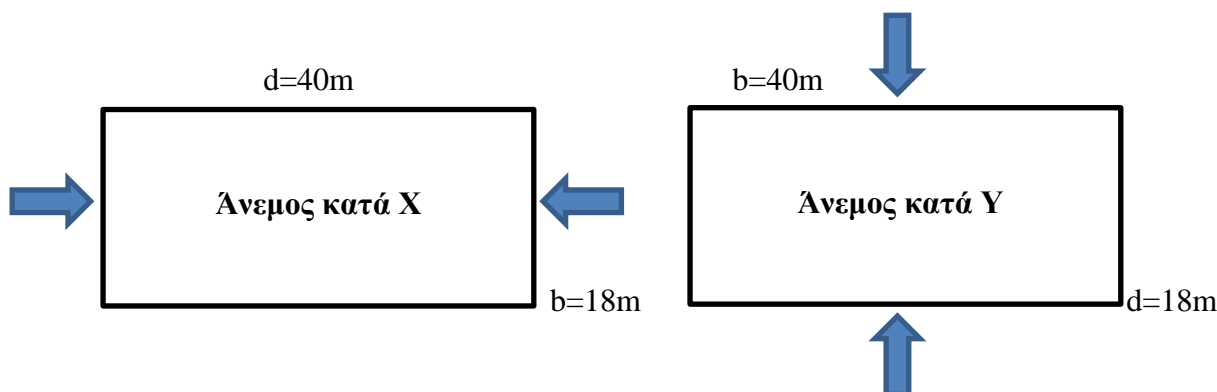
C_{pi} : Συντελεστής πίεσης για την εσωτερική πίεση

Η τελική πίεση είναι η διαφορά των εξωτερικών και εσωτερικών πιέσεων διατηρώντας το πρόσημό τους.

3.3.4.1 Ύψος αναφοράς z_e

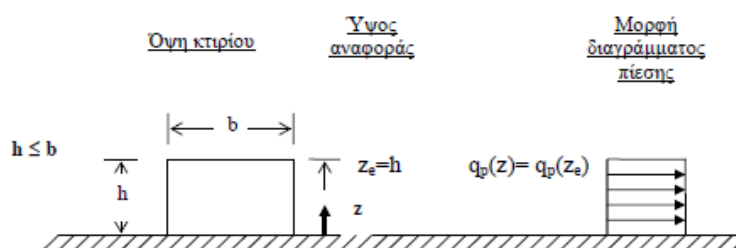
Ο προσδιορισμός του ύψους αναφοράς z_e για τους προσήνεμους τοίχους εξαρτάται από τη σχέση μεταξύ του h και του πλάτους b του κτιρίου. Στο συγκεκριμένο κτίριο, καθώς το κεκλιμένο τμήμα της οροφής είναι πολύ μικρό σε σχέση με την υπόλοιπη στέγη, δε λήφθηκε υπόψη, οπότε : **$z = h = 10.95\text{m} \approx 11\text{m}$** .

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω Σχήμα 3.13, η διάσταση b του κτιρίου είναι κάθετη στη διεύθυνση του σεισμού



Σχήμα 3.13: Διαστάσεις για κατακόρυφους τοίχους αναλόγως τη διεύθυνση του ανέμου

Προκύπτει λοιπόν ότι για κάθε διεύθυνση δράσης του ανέμου **$h = 11\text{m} \leq b$** , οπότε με βάση τον κανονισμό (Σχήμα 3.14), θα ισχύει **$z_e = h = 11\text{m}$**



Σχήμα 3.14: Ύψος αναφοράς z_e συναρτήσει των h και b , και κατανομή των πιέσεων

3.3.4.2 Βασική Ταχύτητα Ανέμου

Το κτίριο της εργασίας βρίσκεται σε αστική περιοχή όπου τουλάχιστον το 15% της επιφάνειας καλύπτεται με κτίρια των οποίων το μέσο ύψος ξεπερνάει τα 15m, άρα Κατηγορία Εδάφους IV.

Η βασική ταχύτητα ανέμου, που ορίζεται ως συνάρτηση της διεύθυνσης του ανέμου και της εποχής του έτους προκύπτει από τη σχέση:

$$V_b = C_{dir} * C_{season} * v_{b,0} \quad (3.7)$$

όπου,

C_{dir} : ο συντελεστής διεύθυνσης και λαμβάνεται ίσος με 1

C_{season} : ο συντελεστής εποχής και λαμβάνεται ίσος με 1

$v_{b,0}$: η θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας του ανέμου. Στην περίπτωση μας, $v_{b,0}=27\text{m/s}$ για κατασκευές σε απόσταση μεγαλύτερη των 10km από την ακτή, σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα.

Συνεπώς από τη Σχέση (3.7) προκύπτει:

$$V_b = 27,0\text{m/s}$$

3.3.4.3 Υπολογισμός Πίεσης Ταχύτητας Αιχμής

Η πίεση ταχύτητας αιχμής $q_p(z)$ σε ύψος z , η οποία περιλαμβάνει μέση και μικρής διάρκειας διακυμάνσεις ταχύτητας, θα πρέπει να προσδιορίζεται από την σχέση:

$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * 0,5 * \rho * v_m^2(z) \quad (3.8)$$

Ένταση του στροβιλισμού $I_v(z)$

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln \frac{z}{z_0}} \quad \text{για } z_{min} \leq z \leq z_{max} = 200\text{m} \quad (3.9)$$

$$I_v(z) = I_v(z_{min}) \quad \text{για } z \leq z_{min} \quad (3.10)$$

όπου:

k_I : ο συντελεστής στροβιλισμού και λαμβάνεται ίσος με 1,00

$c_0(z)$: είναι ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης (ή ανάγλυφου) ο οποίος για κλίση εδάφους μικρότερη τις τιμής 0,05, είναι ίσος με 1.

P : η πυκνότητα του αέρα και λαμβάνεται ίση με $1,25 \text{ kg/m}^3$

$v_m(z)$: η μέση ταχύτητα του ανέμου και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * V_b \quad (3.11)$$

όπου:

$c_r(z)$: ο συντελεστής τραχύτητας

$c_0(z)$: ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης και λαμβάνεται ίσος με 1,00 (προτεινόμενη τιμή)

Ο συντελεστής τραχύτητας υπολογίζεται από τις σχέσεις:

$$\begin{aligned} c_r(z) &= k_r * \ln \frac{z}{z_0} \quad \text{για } z_{min} \leq z \leq z_{max} \\ c_r &= c_r(z_{min}) \quad \text{για } z \leq z_{min} \end{aligned} \quad (3.13)$$

k_r : ο συντελεστής εδάφους και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} \quad (3.14)$$

Οι προτεινόμενες τιμές για το μήκος τραχύτητας Z_0 και το ελάχιστο ύψος Z_{min} δίνονται στον παρακάτω Πίνακα 3.3. Στην προκειμένη περίπτωση λόγω του ότι το κτίριο ανήκει στην κατηγορία εδάφους IV, θα ισχύει:

$$Z_{min} = 10m$$

$$Z_{max} = 200m$$

$$z_{0,II} = 0,05m$$

$$z_0 = 1m$$

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ		$z_0(m)$	$z_{min}(m)$
0	Θάλασσα ή παράκτια περιοχή εκτεθειμένη σε ανοικτή θάλασσα	0,003	1
I	Λίμνες ή επίπεδες και οριζόντιες περιοχές με αμελητέα βλάστηση και χωρίς εμπόδια	0,01	1
II	Περιοχή με χαμηλή βλάστηση όπως γρασίδι και μεμονωμένα εμπόδια (δέντρα, κτίρια) με απόσταση τουλάχιστον 20 φορές το ύψος των εμποδίων	0,05	2
III	Περιοχή με κανονική κάλυψη βλάστησης ή με κτίρια ή με μεμονωμένα εμπόδια με μέγιστη απόσταση το πολύ 20 φορές το ύψος των εμποδίων (π.χ. χωριά, προάστια, μόνιμα δάση)	0,3	5
IV	Περιοχή όπου τουλάχιστον το 15% της επιφάνειας καλύπτεται με κτίρια και το μέσο ύψος τους ξεπερνά τα 15m	1,0	10

Πίνακας 3.3:Κατηγορία Εδάφους Κατασκευής

Στο συγκεκριμένο κτίριο, καθώς το κεκλιμένο τμήμα της οροφής είναι πολύ μικρό σε σχέση με την υπόλοιπη στέγη, δε λήφθηκε υπόψη, οπότε : $z = h = 10.95m \approx 11m$

Άρα, από τις Σχέσεις (3.14), (3.12), (3.11) και (3.9), προκύπτουν:

$$k_r = 0,2343$$

$$c_r(z) = 0,562$$

$$v_m(z) = 15,17 \text{ m/s}$$

$$I_v(z) = 0,417$$

$$\text{Και τελικά μέσω της (3.8): } q(z) = 0,564 \text{ kN/m}^2$$

3.3.4.4 Υπολογισμός Εξωτερικών Πιέσεων Κατακόρυφων Επιφανειών

I. Διεύθυνση ανέμου $\theta = 0^\circ$ (+X)

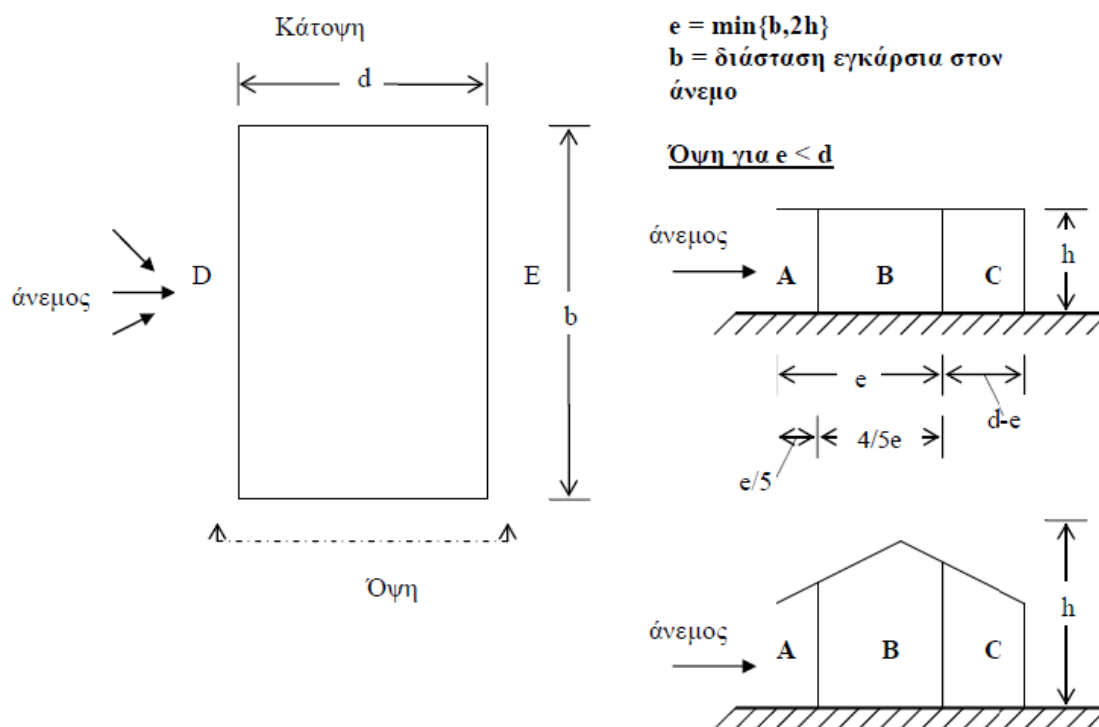
$$\checkmark \quad b = 18m$$

$$\checkmark \quad h = 11m$$

$$\checkmark \quad d = 40m$$

$$\checkmark \quad e = \min(b; 2h) = \min(18m; 22m) = 18.00m < d = 40.00m, \text{ άρα προκύπτουν οι παρακάτω (Σχήμα 3.15) ζώνες υποδιαίρεσης, σύμφωνα με τον Κανονισμό.}$$

$$\checkmark \quad h/d = 14/18 = 0.275, \text{ οπότε προκύπτουν στον Πίνακα 3.4 οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης για κατακόρυφους τοίχους μέσω γραμμικής παρεμβολής των αντίστοιχων του Ευρωκώδικα 1. (Πηγή: [Συντελεστές εξωτερικής πίεσης Cpe](#))}$$



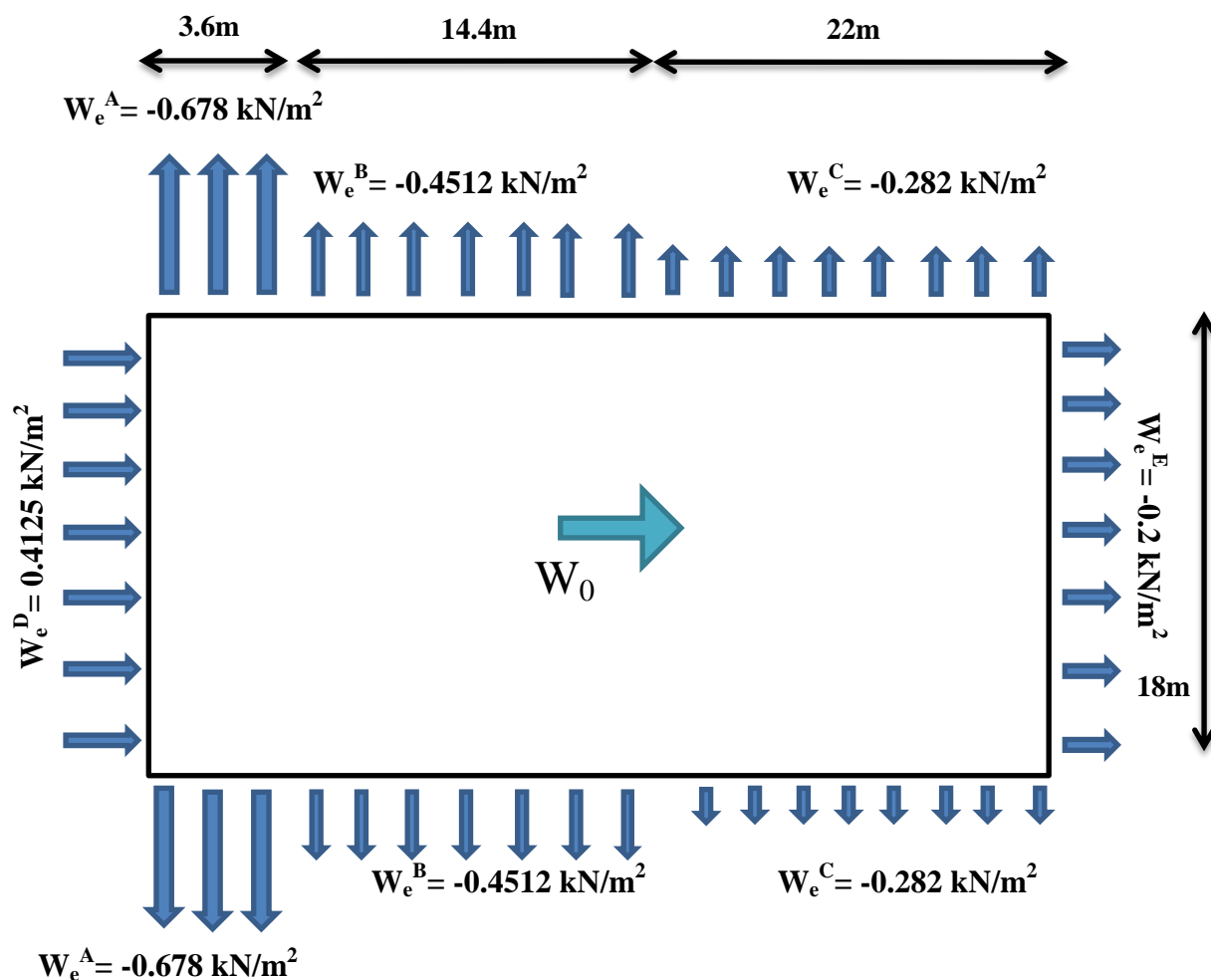
Σχήμα 3.14: Ορισμός ζωνών για κατακόρυφους τοίχους

Πίνακας 3.4: Συντελεστές εξωτερικής πίεσης επί κατακόρυφων τοίχων για $\theta=0^\circ$

ΖΩΝΗ	A	B	C	D	E
$\frac{h}{d}=1$	-1.2	-0.8	-0.5	0.8	-0.5
$\frac{h}{d} \leq 0.25$	-1.2	-0.8	-0.5	0.7	-0.3
$\frac{h}{d}=0.275$	-1.2	-0.8	-0.5	0.735	-0.355

Με βάση τις τιμές των συντελεστών αυτών και μέσω της αρχικής σχέσης (3.6) υπολογίζονται οι εξωτερικές πιέσεις w_e κάθε ζώνης.

Οι τιμές αυτών, η κατανομή και το μήκος κατανομής της κάθε ζώνης απεικονίζονται στο παρακάτω Σχήμα 3.15:



Σχήμα 3.15: Εξωτερικές πιέσεις επί κατακόρυφων τοίχων για $\theta=0^\circ$

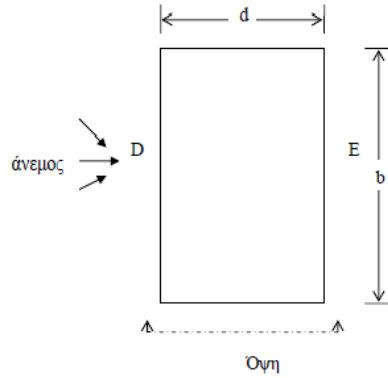
II. Διεύθυνση ανέμου $\theta=180^\circ$ (-X)

Για τη διεύθυνση αυτή, ισχύουν τα ίδια με την προηγούμενη περίπτωση σε ότι αφορά τις διαστάσεις, το ύψος αναφοράς τις τιμές των συντελεστών εξωτερικής πίεσης και τις τιμές των εξωτερικών πιέσεων. Σε ότι αφορά την κατανομή τους στην κάτοψη αυτή θα είναι συμμετρική της Διεύθυνσης $\theta=0^\circ$ ως προς τον άξονα που περνάει κάθετα από το κέντρο του κτιρίου.

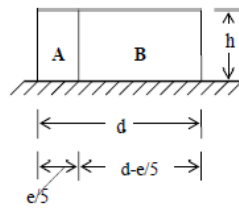
III. Διεύθυνση ανέμου $\theta=90^\circ$ (+Y)

- ✓ $b=40m$
- ✓ $h=11m$
- ✓ $d=18m$

- ✓ $e = \min(b; 2h) = \min(40m; 22m) = 22.00m > d = 18.00m$, άρα προκύπτουν οι παρακάτω (Σχήμα 3.16) ζώνες υποδιαίρεσης, σύμφωνα με τον Κανονισμό.
- ✓ $h/d = 14/18 = 0.611$, οπότε προκύπτουν στον Πίνακα 3.5 οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης για κατακόρυφους τοίχους μέσω γραμμικής παρεμβολής των αντίστοιχων του Ευρωκώδικα 1. (Πηγή: [Συντελεστές εξωτερικής πίεσης Cpe](#))



Οψη για $e > d$



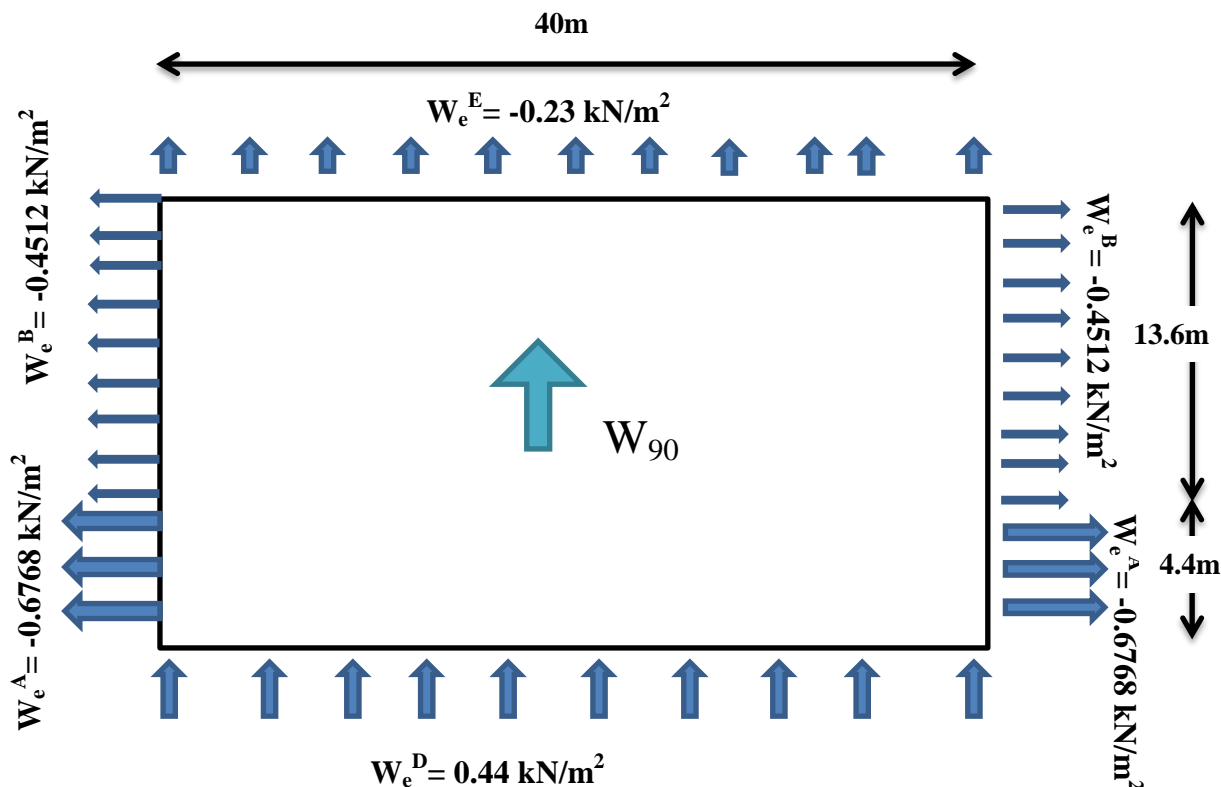
Σχήμα 3.16: Ορισμός ζωνών για κατακόρυφους τοίχους

Πίνακας 3.5: Συντελεστές εξωτερικής πίεσης επί κατακόρυφων τοίχων για $\theta = 90^\circ$

ΖΩΝΗ	A	B	C	D	E
$\frac{h}{d} = 1$	-1.2	-0.8	-0.5	0.8	-0.5
$\frac{h}{d} \leq 0.25$	-1.2	-0.8	-0.5	0.7	-0.3
$\frac{h}{d} = 0.611$	-1.2	-0.8	-0.5	0.775	-0.42

Με βάση τις τιμές των συντελεστών αυτών και μέσω της αρχικής σχέσης (3.6) υπολογίζονται οι εξωτερικές πιέσεις w_e κάθε ζώνης.

Οι τιμές αυτών, η κατανομή και το μήκος κατανομής της κάθε ζώνης απεικονίζονται στο παρακάτω Σχήμα 3.17:



Σχήμα 3.17: Εξωτερικές πιέσεις επί κατακόρυφων τοίχων για $\theta=90^\circ$

IV. Διεύθυνση ανέμου $\theta=270^\circ(+Y)$

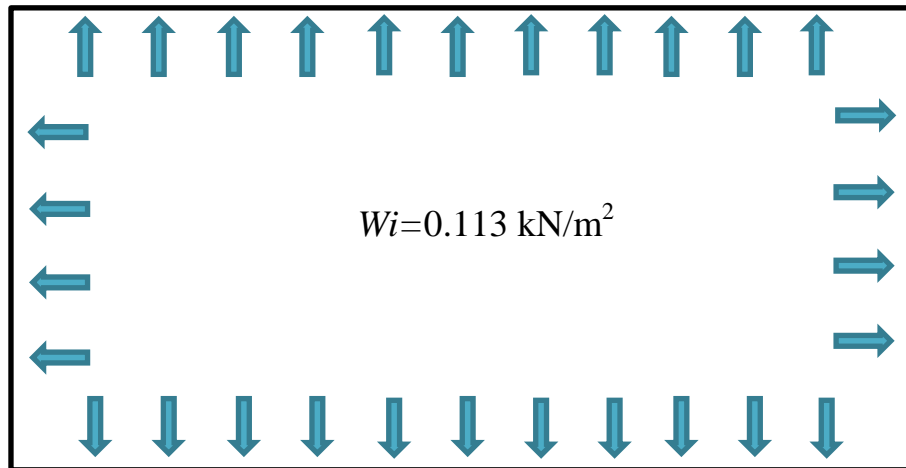
Για τη διεύθυνση αυτή, ισχύουν τα ίδια με την προηγούμενη περίπτωση σε ότι αφορά τις διαστάσεις, το ύψος αναφοράς τις τιμές των συντελεστών εξωτερικής πίεσης και τις τιμές των εξωτερικών πιέσεων. Σε ότι αφορά την κατανομή τους στην κάτοψη αυτή θα είναι συμμετρική της Διεύθυνσης $\theta=90^\circ$ ως προς τον άξονα που περνάει *οριζόντια* από το κέντρο του κτιρίου.

3.3.4.5 Υπολογισμός Εσωτερικών Πιέσεων Κατακόρυφων Επιφανειών

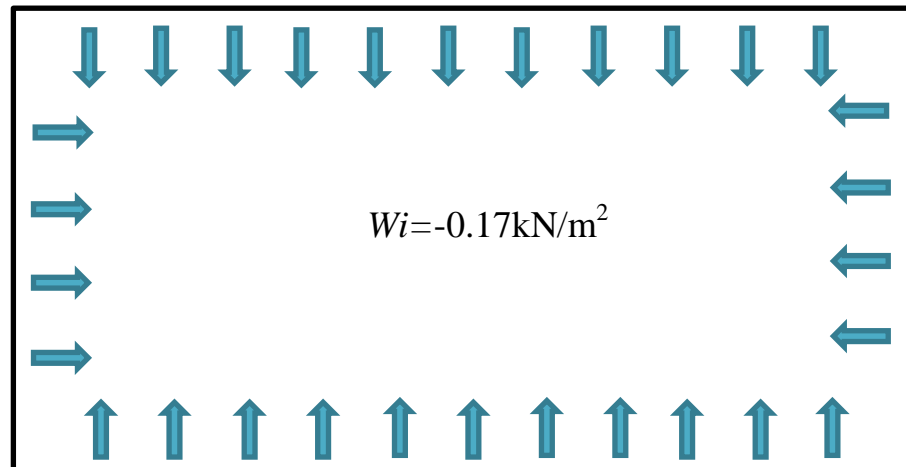
Οι εσωτερικές πιέσεις δρουν ταυτόχρονα με τις εξωτερικές πιέσεις και πρέπει στους υπολογισμούς να λαμβάνονται υπόψη μαζί με αυτές, για κάθε συνδυασμό δυνατών ανοιγμάτων. Ο συντελεστής εσωτερικής πίεσης C_{pi} εξαρτάται από το μέγεθος και την κατανομή των ανοιγμάτων στη συνολική επιφάνεια του κτιρίου. Όπου δεν είναι δυνατή ή δεν θεωρείται επαρκής η εκτίμηση του λόγου ανοιγμάτων μ για μία συγκεκριμένη περίπτωση, τότε το C_{pi} πρέπει να λαμβάνεται ως το πλέον δυσμενές από τα +0,2 και -0,3. Για τις δύο, λοιπόν, αυτές περιπτώσεις και μέσω της σχέσης (3.6), θα ισχύει:

✓ $C_{pi}=0.2$, άρα: $W_i=0.113 \text{ kN/m}^2$

✓ $C_{pi}=-0.3$, άρα: $W_i=-0.17 \text{ kN/m}^2$



Σχήμα 3.18: Εσωτερικές πιέσεις επί κατακόρυφων τοίχων για $C_{pi}=0.2$



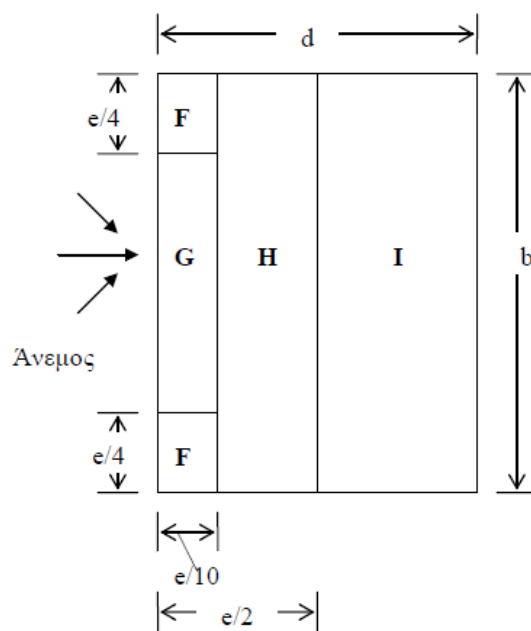
Σχήμα 3.19: Εσωτερικές πιέσεις επί κατακόρυφων τοίχων για $C_{pi}=-0.3$

3.3.4.6 Υπολογισμός Εξωτερικών Πίεσεων Στέγης

Το κτίριο της παρούσας εργασίας θεωρήθηκε ότι ανήκει εξ ολοκλήρου στην περίπτωση μονόκλινους οριζόντιας στέγης $\alpha=0^\circ$ του Ευρωκώδικα EN 1991-1-4. Όπως και προηγουμένως θεωρήθηκε μικρό το τμήμα κεκλιμένης στέγης οπότε αγνοήθηκε, άρα: **$z=11m$** .

I. Διεύθυνση ανέμου $\theta=0^\circ$ (+X)

- ✓ $b=18m$
- ✓ $h=11m$
- ✓ $d=40m$
- ✓ $e=\min(b;2h)=18.00m < d=40.00m$, άρα προκύπτουν οι παρακάτω (Σχήμα 3.20) ζώνες υποδιαίρεσης, σύμφωνα με τον Κανονισμό.
- ✓ $h/d=14/18=0.275$, οπότε προκύπτουν στον Πίνακα 3.5 οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης για στέγη μέσω γραμμικής παρεμβολής των αντίστοιχων του Ευρωκώδικα 1.
(Πηγή: [Συντελεστές εξωτερικής πίεσης Cpe,10 στέγης](#))

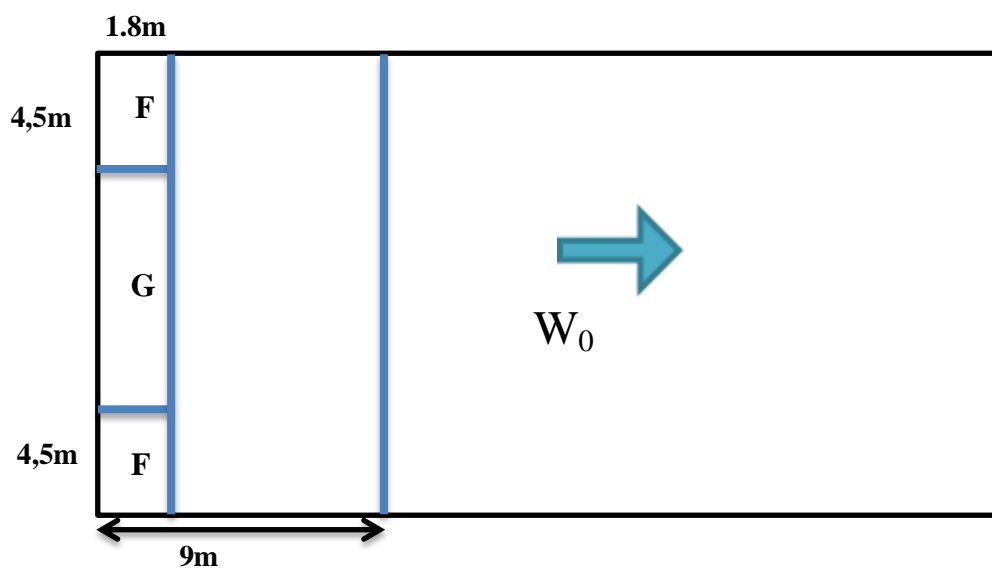


Σχήμα 3.20 Ορισμός ζωνών για επίπεδες στέγες

ΖΩΝΗ	F	G	H	I
Στέγη με αιχμηρά αντικείμενα	-1.8	-1,2	-0.7	$\pm 0,2$

Πίνακας 3.5: Συντελεστής εξωτερικής Πίεσης για $\theta=0^\circ$

Οπότε προκύπτουν τελικά:



Σχήμα 3.21: Εξωτερικές πιέσεις στέγης

- Για τη διεύθυνση ανέμου $\theta=180^\circ$ ισχύουν τα ίδια αλλά με συμμετρική φορά.

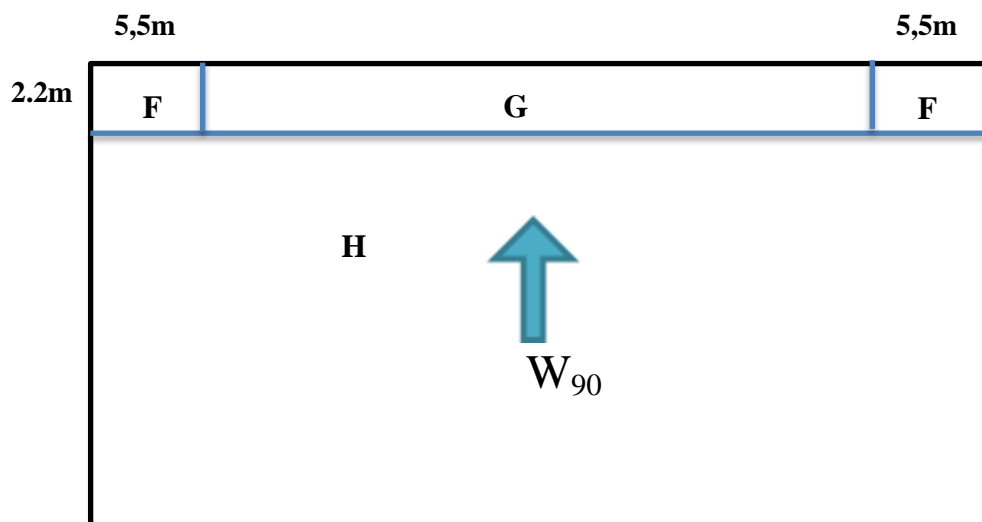
II. Διεύθυνση ανέμου $\theta=90^\circ$ (+Y)

- ✓ $b=40m$
- ✓ $h=11m$
- ✓ $d=18m$
- ✓ $e=\min(b;2h)=22.00m > d=18.00m$, άρα προκύπτουν οι παραπάνω (Σχήμα 3.20) ζώνες υποδιαίρεσης, σύμφωνα με τον Κανονισμό, **χωρίς όμως τη Ζώνη I.**
- ✓ $h/d=14/18=0.611$, οπότε προκύπτουν στον Πίνακα 3.6 οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης για κατακόρυφους τοίχους μέσω γραμμικής παρεμβολής των αντίστοιχων του Ευρωκώδικα 1. (Πηγή: [Συντελεστές εξωτερικής πίεσης Cpe, 10 στέγης](#))

ZΩNH	F	G	H
Στέγη με αιχμηρά αντικείμενα	-1.8	-1,2	-0.7

Πίνακας 3.5: Συντελεστής εξωτερικής Πίεσης για $\theta=90^\circ$

Οπότε προκύπτουν τελικά:

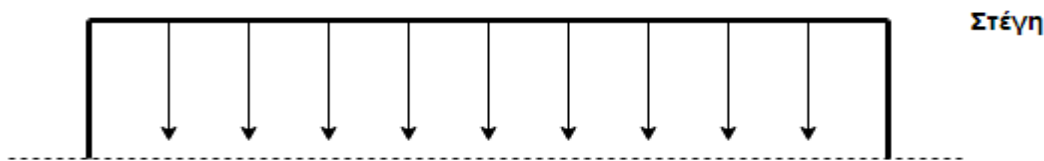


Σχήμα 3.22: Εξωτερικές πιέσεις επί κατακόρυφων τοίχων για $C_{pi}=-0.3$

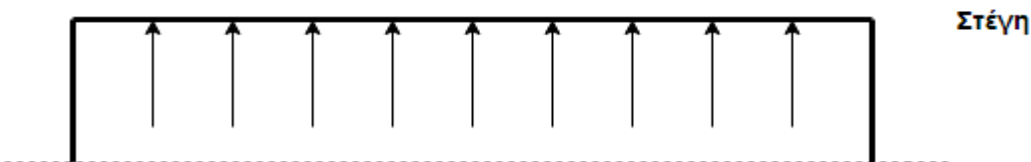
- Για τη διεύθυνση ανέμου $\theta=270^\circ$ ισχύουν τα ίδια αλλά με συμμετρική φορά.

3.3.4.7 Υπολογισμός Εσωτερικών Πίεσεων Στέγης

Όπως και πριν για τις εσωτερικές πιέσεις επί κατακόρυφων τοίχων. Έτσι και των για τις εσωτερικές πιέσεις επί της στέγης, θα ληφθούν υπόψη οι δύο δυσμενέστερες περιπτώσεις οι οποίες προκύπτουν για συντελεστή εσωτερικής πίεσης $C_{pi}=-0,3$ και $C_{pi}=+0,2$ χρησιμοποιώντας τη σχέση (3.6). Η φόρτιση της στέγης μέσω αυτών των εσωτερικών πιέσεων και στις δύο περιπτώσεις φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:



Σχήμα3.23: Εσωτερική Πίεση Στέγης για $C_{pi}=0.2 \rightarrow W= 0.113\text{kN/m}^2$



Σχήμα3.23: Εσωτερική Πίεση Στέγης για $C_{pi}=-0.3 \rightarrow W= -0.17 \text{ kN/m}^2$

3.3.5 Σεισμικές Δράσεις

Κατά την διάρκεια ενός σεισμού αναπτύσσονται στο έδαφος επιταχύνσεις που έχουν ως συνέπεια τη δημιουργία αδρανειακών δυνάμεων επί των κατασκευών. Από τις δυνάμεις αυτές οι οριζόντιες θεωρούνται οι πλέον σοβαρές χωρίς αυτό να σημαίνει, ότι και οι κατακόρυφες δεν μπορεί να αποβούν καταστροφικές υπό ορισμένες συνθήκες. Ως σεισμικές δράσεις σχεδιασμού θεωρούνται οι ταλαντώσεις του κτιρίου λόγω του σεισμού, οι οποίες ονομάζονται και σεισμικές διεγέρσεις. Οι σεισμικές δράσεις κατατάσσονται στις τυχαματικές και δεν συνδυάζονται με άλλες τυχαματικές δράσεις, όπως επίσης δεν συνδυάζονται με τις δράσεις λόγω ανέμου.

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 1 (EN 1998-1), τα αποτελέσματα της σεισμικής απόκρισης μπορούν να υπολογιστούν με βάση την γραμμική – ελαστική συμπεριφορά του φορέα. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του φορέα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας από τους ακόλουθους δύο τύπους γραμμικής – ελαστικής ανάλυσης:

- i. Μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης
- ii. Ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης,

Σαν βασικές αρχές αντισεισμικού σχεδιασμού ο μελετητής επιδιώκει για μικρούς σεισμούς να υπάρξουν αποδεκτές πλαστικές παραμορφώσεις ενώ για το σεισμό σχεδιασμού να υπάρξει αποφυγή σοβαρών βλαβών. Αυτό πραγματοποιείται προσδίδοντας πλαστιμότητα στην υπό μελέτη κατασκευή (μέσω του συντελεστή συμπεριφοράς q και του ορισμού του μηχανισμού κατάρρευσης) και στα μέλη αυτής επιλέγοντας διατομές Κατηγορίας 1 ή 2 και κάνοντας την απαραίτητη ικανοτική προσαύξηση των εντάσεων.

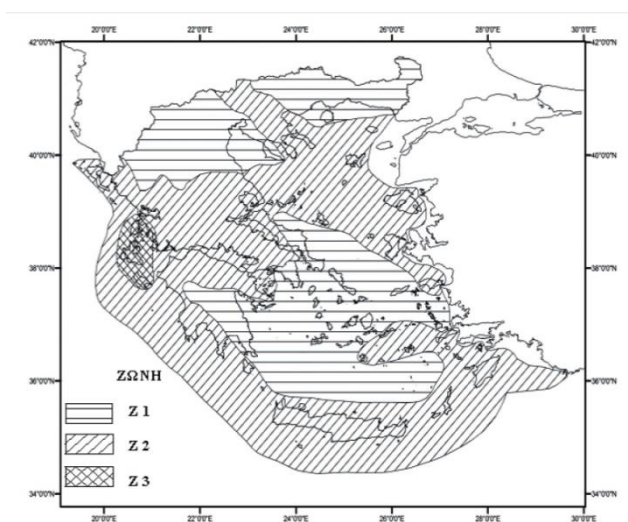
Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της *ιδιομορφικής ανάλυσης φάσματος απόκρισης*, η οποία περιλαμβάνει πλήρη Ιδιομορφική ανάλυση του συστήματος και υπολογισμό της μέγιστης σεισμικής απόκρισης για κάθε ιδιομορφή. Η μέθοδος αυτή πραγματοποιήθηκε κατά την ανάλυση με το πρόγραμμα Robot Structural Analysis.

▪ Εδαφική Επιτάχυνση a_{gR} (Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας)

Η ένταση των εδαφικών σεισμικών διεγέρσεων καθορίζεται με βάση τον κανονισμό ανάλογα τη περιοχή στην οποία εκπονείται η μελέτη. Η Ελλάδα υποδιαιρείται σε τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας, όπου σε κάθε μια ορίζεται μια τιμή σεισμικής επιτάχυνσης η οποία έχει πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια, δηλαδή περίοδο επαναφοράς 475 χρόνια. Σε κάθε ζώνη αντιστοιχεί μια τιμή σεισμικής επιτάχυνσης a_{gR} που έχει ληφθεί με βάση το χάρτη ζωνών από τον EN 1998-1 NA ,όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.24.

Στην συγκεκριμένη μελέτη το κτίριο βρίσκεται στην περιοχή της Αττικής, σε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Z2 οπότε λαμβάνεται η τιμή του κανονισμού $a_{gR}=0,24g$

Ζώνη	a_{gR}/g
Z1	0.16
Z2	0.24
Z3	0.36



Σχήμα3.23: Ζώνες Σεισμικής Επικινδυνότητας, Ελλάδα

▪ Συντελεστής σπουδαιότητας γ_i

Σημαντική παράμετρος για το σχεδιασμό των κατασκευών έναντι σεισμικών δράσεων αποτελεί το είδος της υπό μελέτη κατασκευής το οποίο ορίζεται μέσω του συντελεστή σπουδαιότητας γ_i . Σχεδιασμός σημαντικών κατασκευών (π.χ. σχολεία, νοσοκομεία κ.λπ.) γίνεται για σεισμούς με μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς της τάξεως των 1000 ή 2000 χρόνων. Η σπουδαιότητα της εκάστοτε κατασκευής μέσω του Ευρωκώδικα 8 ποσοτικοποιείται με την τιμή του συντελεστή γ_i .

Η συγκεκριμένη κατασκευή, που αποτελεί Κτίριο Γραφείων, ανήκει στην Κατηγορία Σπουδαιότητας II (Σχήμα 3.24) , άρα $\gamma_i=1$

Και ισχύει: $\alpha_g = \gamma_i \cdot a_{gR} = 1 \cdot 0,24g = 0,24g$

Κατηγορία σπουδαιότητας	γ_i	Περιγραφή
I	0,80	Κτίρια δευτερεύουσας σημασίας για τη δημόσια ασφάλεια, π.χ. γεωργικά κτίρια, κλπ.
II	1,00	Συνήθη κτίρια, που δεν ανήκουν στις άλλες κατηγορίες.
III	1,20	Κτίρια των οποίων η σεισμική ασφάλεια είναι σημαντική, λαμβάνοντας υπόψη τις συνέπειες κατάρρευσης, π.χ. σχολεία, αίθουσες συνάθροισης, πολιτιστικά ιδρύματα κλπ.
IV	1,40	Κτίρια των οποίων η ακεραιότητα κατά τη διάρκεια σεισμών είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία των πολιτών, π.χ. νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, σταθμοί παραγωγής ενέργειας, κλπ.

Σχήμα 3.24: Κατηγορίες σπουδαιότητας

▪ Συντελεστής – Κατηγορία Εδάφους

Σε περιπτώσεις σκληρών ή βραχωδών εδαφών τα φάσματα δείχνουν μεγάλες επιταχύνσεις για μικρές ιδιοπεριόδους ενώ σε μαλακά εδάφη εμφανίζονται μεγάλες φασματικές επιταχύνσεις ακόμα και σε μεγαλύτερες περιόδους. Οι τιμές των παραμέτρων οι οποίες καθορίζουν το φάσμα απόκρισης δίνονται στον Πίνακα 3.6.

Το Κτίριο Γραφείων εδράζεται σε έδαφος κατηγορίας C δηλαδή ισχύει: $S=1,15$, $T_B=0,20$ sec, $T_C=0,60$ sec και $T_D=2,50$ sec.

Κατηγορία Εδάφους	S	T_B (sec)	T_C (sec)	T_D (sec)
A	1,00	0,15	0,40	2,50
B	1,20	0,15	0,50	2,50
C	1,15	0,20	0,60	2,50
D	1,35	0,20	0,80	2,50
E	1,40	0,15	0,50	2,50

Πίνακας 3.6: Κατηγορίες εδάφους και παράμετροι απόκρισης

▪ Συντελεστής συμπεριφοράς q (κατηγορία πλαστιμότητας)

Ως πλαστιμότητα ορίζεται η ικανότητα της κατασκευής να μπορεί να αντισταθεί στο σεισμό σχεδιασμού αναπτύσσοντας μεγάλες αλλά επιτρεπτές βλάβες (πλαστικές παραμορφώσεις). Η κατηγορία πλαστιμότητας μπορεί να είναι υψηλή (ΚΠΥ), μέση (ΚΜΜ) ή χαμηλή (ΚΠΧ). Η πλαστιμότητα της κατασκευής εκφράζεται μέσω του συντελεστή συμπεριφοράς q .

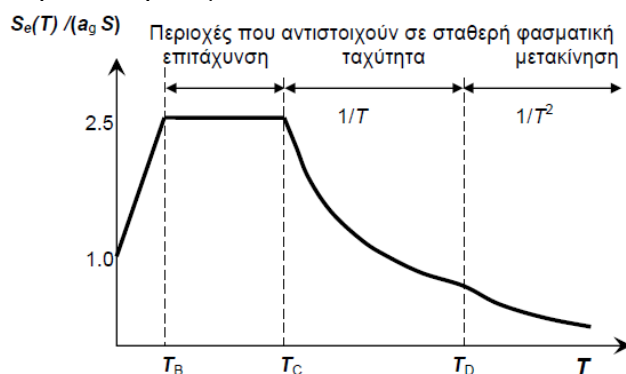
Στη συγκεκριμένη κατασκευή λόγω του ότι στη μία διεύθυνση γίνεται χρήση διαγώνιων συνδέσμων δυσκαμψίας ενώ στην άλλη διεύθυνση λειτουργούν πλαίσια ροπής σύμφωνα με τον Πίνακα 3.7, η τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς είναι: $q=4$, για μέση κατηγορία πλαστιμότητας.

Στατικός Τύπος	Κατηγορία Πλαστιμότητας	
	ΚΠΜ	ΚΠΥ
α) Πλαίσια παραλαβής ροπών	4	$5\alpha_u/\alpha_1$
β) Πλαίσιο με συνδέσμους χωρίς εκκεντρότητα Διαγώνιοι σύνδεσμοι Σύνδεσμοι μορφής V	4 2	4 2,5
γ) Πλαίσια με έκκεντρος συνδέσμους	4	$5\alpha_u/\alpha_1$
δ) Ανεστραμμένο εκκρεμές	2	$2\alpha_u/\alpha_1$
ε) Συστήματα με πυρήνες από σκυρόδεμα ή τοιχώματα από σκυρόδεμα	Βλέπε Κεφάλαιο 5 του EC8	
στ) Πλαίσιο παραλαβής ροπών με συνδέσμους χωρίς εκκεντρότητα	4	$4\alpha_u/\alpha_1$
ζ) Πλαίσια παραλαβής ροπών με τοιχοπληρώσεις		
Ασύνδετες τοιχοπληρώσεις από σκυρόδεμα ή τοιχοποιία, σε επαφή με το πλαίσιο	2	2
Συνδεδεμένες τοιχοπληρώσεις από οπλισμένο σκυρόδεμα	Βλέπε Κεφάλαιο 7 του EC8	
Τοιχοπληρώσεις μονωμένες έναντι του πλαισίου (βλέπε πλαίσια ροπών)	4	$5\alpha_u/\alpha_1$

Πίνακας 3.7: Ανώτερες οριακές τιμές αναφοράς των συντελεστών συμπεριφοράς για συστήματα κανονικά σε όψη

■ Φάσμα Σχεδιασμού

Οι σύγχρονοι αντισεισμικοί κανονισμοί λαμβάνουν υπόψη τους την επιρροή των ιδιοτήτων του εδάφους στη μορφή του φάσματος τροποποιώντας τις χαρακτηριστικές περιόδους T_B και T_C που καθορίζουν την έναρξη της περιοχής σταθερής φασματικής επιτάχυνσης και σταθερής φασματικής ταχύτητας αντίστοιχα. Για συντελεστή απόσβεσης $\eta = \sqrt{\frac{0,1}{\zeta+0,05}}$, και για οριζόντια σεισμική δράση με απόσβεση 5% παίρνουμε ότι:



Σχήμα 3.25: Φάσμα Σχεδιασμού για Ευρωκώδικα 8 στην οριζόντια διεύθυνση για απόσβεση 5%

Οι αναλυτικές σχέσεις που δίνουν την επιτάχυνση σχεδιασμού είναι οι παρακάτω:

$$0 \leq T \leq T_B : S_d(T) = a_g S \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \left(\frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad (3.15)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = a_g S \frac{2.5}{q} \quad (3.16)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) \begin{cases} = a_g S \frac{2.5}{q} \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq 0.2 a_g \end{cases} \quad (3.17)$$

$$T_D \leq T : S_d(T) \begin{cases} = a_g S \frac{2.5}{q} \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq 0.2 a_g \end{cases} \quad (3.18)$$

3.4 Συνδυασμοί Δράσεων

Οριακές καταστάσεις είναι οι καταστάσεις πέρα των οποίων ο φορέας ή τμήμα αυτού δεν ικανοποιεί πλέον τα κριτήρια σχεδιασμού του. Διακρίνονται στις παρακάτω δύο κατηγορίες σύμφωνα με τις διατάξεις του EN 1990 :

- Οριακές καταστάσεις αστοχίας (Ultimate Limit States-ULS, πλαστικές αντοχές, απώλεια ευστάθειας, θραύση, κόπωση, ανατροπή κ.τ.λ.), που συνδέονται με κατάρρευση ή με ισοδύναμες μορφές αστοχίας του φορέα ή τμήματος του.
- Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας (Serviceability Limit States-SLS, μετατοπίσεις, ταλαντώσεις, ρηγματώσεις κ.τ.λ.) που συνδέονται με συνθήκες πέραν των οποίων δεν παρατηρούνται πλέον οι καθορισμένες απαιτήσεις για το φορέα ή για μέλος αυτού.

Οι καταστάσεις αυτές (ULS και SLS) προσεγγίζονται με προσαύξηση των φορτίων λειτουργίας του φορέα μέσω των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας (γ) και των μειωτικών συντελεστών (ψ) για την περίπτωση ταυτόχρονης εμφάνισης των ακραίων μεγεθών των μεταβλητών δράσεων στο φορέα. Τα προκύπτοντα φορτία ονομάζονται φορτία ή δράσεις σχεδιασμού και χρησιμοποιούνται υπό μορφή συνδυασμών για το σχεδιασμό του φορέα. Ο σχεδιασμός θα πρέπει να βασίζεται στη χρήση κατάλληλων, για τη συγκεκριμένη οριακή κατάσταση, προσομοιωμάτων του φορέα και της φόρτισης και πρέπει να ελέγχεται ότι δεν υπάρχει υπέρβαση σε καμία οριακή κατάσταση.

	Οριακή κατάσταση αστοχίας		Οριακές κατάσταση λειτουργικότητας	
	Δυσμενής Επίδραση	Ευμενής Επίδραση	Δυσμενής Επίδραση	Ευμενής Επίδραση
γ_G	1,35	1,0	1,0	1,0
γ_Q	1,5	0	1,0	0

Πίνακας 3.8: Συντελεστές ασφαλείας φορτίων

ΔΡΑΣΕΙΣ	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Επιβαλλόμενα φορτία σε κτίρια			
Κατηγορία Α: κατοικίες, συνήθη κτίρια κατοικιών	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία Β: χώροι γραφείων	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία C: χώροι συνάθροισης	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία D: χώροι καταστημάτων	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία Ε: χώροι αποθήκευσης	1,0	0,9	0,8
Κατηγορία F: χώροι κυκλοφορίας οχημάτων: βάρος οχημάτων < 30tn	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία G: χώροι κυκλοφορίας οχημάτων 30tn < βάρος οχημάτων < 160tn	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία Η: στέγες	0,7	0,5	0,3
Φορτία χιονιού επάνω σε κτίρια			
Φινλανδία, Ισλανδία, Νορβηγία, Σουηδία	0,7	0,5	0,2
Υπόλοιπα κράτη μέλη του CEN με υψόμετρο H > 1000m	0,7	0,5	0,2
Υπόλοιπα κράτη μέλη του CEN με υψόμετρο H < 1000m	0,5	0,2	0
Φορτία ανέμου σε κτίρια			
	0,6	0,2	0
Θερμοκρασία (εκτός-πυρκαϊάς) σε κτίρια			
	0,6	0,5	0

Πίνακας 3.9: Προτεινόμενες τιμές των συντελεστών συνδυασμού ψ σύμφωνα με τον ΕΚ1

Το Κτίριο της εργασίας αποτελεί Κτίριο Γραφείων, οπότε ανήκει στην *Κατηγορία Β*, και άρα:

- Για κινητά φορτία: $\psi_0=0,7$, $\psi_2=0,3$ (για σεισμικό συνδυασμό)
- Για φορτία ανέμου: $\psi_0=0,6$
- Για φορτία χιονιού: $\psi_0=0,5$

▪ Οριακή Κατάσταση Αστοχίας

Οι συνδυασμοί σχεδιασμού για τον έλεγχο στην οριακή κατάσταση αστοχίας, είναι οι ακόλουθοι:

1. Βασικός Συνδυασμός:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{Q,i} \cdot Q_{k,i} \quad (3.19)$$

2. Σεισμικός Συνδυασμός:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{kj} + E + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (3.20)$$

Στους συνδυασμούς που πραγματοποιήθηκαν για την διαστασιολόγηση και τον έλεγχο της συγκεκριμένης κατασκευής στη **δυσμενή κατάσταση** ($\gamma_G=1,35/\gamma_Q=1,5$), συμβολίζονται:

- DL: ιβ μεταλλικών στοιχείων
- ADL: ιβ σύμμικτης πλάκας, πρόσθετα μόνιμα φορτία ορόφων, γραμμικό φορτίο γυαλιού
- LIVE (Q): κινητό φορτίο ορόφων
- SNOW (SW): φορτίο χιονιού
- W1_0: φορτίο ανέμου με κατεύθυνση +X και για εσωτερική πίεση $C_{pi}=0,2$
- W2_0: φορτίο ανέμου με κατεύθυνση +X και για εσωτερική πίεση $C_{pi}=-0,3$
- W1_90: φορτίο ανέμου με κατεύθυνση +Y και για εσωτερική πίεση $C_{pi}=0,2$
- W2_90: φορτίο ανέμου με κατεύθυνση +Y και για εσωτερική πίεση $C_{pi}=-0,3$
- Ex: σεισμική δράση κατά X
- Ey: σεισμική δράση κατά Y

Διευκρινίζεται ότι οι υπολογισμοί έγιναν για τις διευθύνσεις ανέμου +X,+Y, καθώς το κτίριο συμμετρικό και τα αποτελέσματα θα είναι τα ίδια και για τις περιπτώσεις ανέμου -X,-Y

Βασικός Συνδυασμός με βασικό φορτίο τα Κινητά (Q):

- 1) $1.35 \cdot (DEAD+ADL) + 1.50 \cdot Q + 1.50 \cdot 0.60 \cdot W1_0 + 1.5 \cdot 0.5 \cdot SW$
- 2) $1.35 \cdot (DEAD+ADL) + 1.50 \cdot Q + 1.50 \cdot 0.60 \cdot W2_0 + 1.5 \cdot 0.5 \cdot SW$
- 3) $1.35 \cdot (DEAD+ADL) + 1.50 \cdot Q + 1.50 \cdot 0.60 \cdot W1_90 + 1.5 \cdot 0.5 \cdot SW$
- 4) $1.35 \cdot (DEAD+ADL) + 1.50 \cdot Q + 1.50 \cdot 0.60 \cdot W2_90 + 1.5 \cdot 0.5 \cdot SW$

Βασικός Συνδυασμός με βασικό φορτίο τον Άνεμο (W):

- 5) $1.35 \cdot (DEAD+ADL) + 1.50 \cdot 0.70 \cdot Q + 1.50 \cdot W1_0 + 1.5 \cdot 0.5 \cdot SW$
- 6) $1.35 \cdot (DEAD+ADL) + 1.50 \cdot 0.70 \cdot Q + 1.50 \cdot W2_0 + 1.5 \cdot 0.5 \cdot SW$

- 7) $1.35 \cdot (DEAD+ADL) + 1.50 \cdot 0.70 \cdot Q + 1.50 \cdot W1_{90} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot SW$
 8) $1.35 \cdot (DEAD+ADL) + 1.50 \cdot 0.70 \cdot Q + 1.50 \cdot W2_{90} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot SW$

Βασικός Συνδυασμός με βασικό φορτίο το Χιόνι (SW):

- 9) $1.35 \cdot (DEAD+ADL) + 1.50 \cdot 0.70 \cdot Q + 1.50 \cdot 0.6 \cdot W1_0 + 1.5 \cdot SW$
 10) $1.35 \cdot (DEAD+ADL) + 1.50 \cdot 0.70 \cdot Q + 1.50 \cdot 0.6 \cdot W2_0 + 1.5 \cdot SW$
 11) $1.35 \cdot (DEAD+ADL) + 1.50 \cdot 0.70 \cdot Q + 1.50 \cdot 0.6 \cdot W1_{90} + 1.5 \cdot SW$
 12) $1.35 \cdot (DEAD+ADL) + 1.50 \cdot 0.70 \cdot Q + 1.50 \cdot 0.6 \cdot W2_{90} + 1.5 \cdot SW$

Κατά τον σχεδιασμό του κτιρίου, επιτρέπεται να εφαρμοσθούν απλούστεροι κανόνες επαλληλίας των συνιστωσών του σεισμού, οπότε δημιουργούνται οι παρακάτω 8 σεισμικοί συνδυασμοί, στους οποίους γίνεται η απλοϊκή θεώρηση της ταυτόχρονης δράσης του σεισμού στις δύο κύριες διευθύνσεις X (E_x) και Y (E_y) σε ποσοστά 100% και 30%, αντίστοιχα.

Σεισμικοί Συνδυασμοί :

- 13) $1.00 \cdot (DEAD+ADL) + 0.30 \cdot Q \pm E_x + 0.30 \cdot E_y$
 14) $1.00 \cdot (DEAD+ADL) + 0.30 \cdot Q \pm E_x - 0.30 \cdot E_y$
 15) $1.00 \cdot (DEAD+ADL) + 0.30 \cdot Q \pm 0.30 \cdot E_x + E_y$
 16) $1.00 \cdot (DEAD+ADL) + 0.30 \cdot Q \pm 0.30 \cdot E_x - E_y$

▪ Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας

Ο συνδυασμός σχεδιασμού για τον έλεγχο στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας, είναι ο ακόλουθος:

1. Χαρακτηριστικός συνδυασμός:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{kj} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (3.21)$$

Οπότε τελικά προκύπτουν για **δυσμενή κατάσταση** ($\gamma_G=1,00/ \gamma_Q=1,00$), :

Βασικός Συνδυασμός με βασικό φορτίο τα Κινητά (Q):

- 1) $1.00 \cdot (DEAD+ADL) + 1.00 \cdot Q + 0.60 \cdot W1_0 + 0.5 \cdot SW$
 2) $1.00 \cdot (DEAD+ADL) + 1.00 \cdot Q + 0.60 \cdot W2_0 + 0.5 \cdot SW$
 3) $1.00 \cdot (DEAD+ADL) + 1.00 \cdot Q + 0.60 \cdot W1_{90} + 0.5 \cdot SW$
 4) $1.00 \cdot (DEAD+ADL) + 1.00 \cdot Q + 0.60 \cdot W2_{90} + 0.5 \cdot SW$

Βασικός Συνδυασμός με βασικό φορτίο τον Άνεμο (W):

- 5) $1.00 \cdot (DEAD+ADL) + 0.70 \cdot Q + 1.00 \cdot W1_0 + 0.5 \cdot SW$
 6) $1.00 \cdot (DEAD+ADL) + 0.70 \cdot Q + 1.00 \cdot W2_0 + 0.5 \cdot SW$
 7) $1.00 \cdot (DEAD+ADL) + 0.70 \cdot Q + 1.00 \cdot W1_{90} + 0.5 \cdot SW$
 8) $1.00 \cdot (DEAD+ADL) + 0.70 \cdot Q + 1.00 \cdot W2_{90} + 0.5 \cdot SW$

Βασικός Συνδυασμός με βασικό φορτίο το Χιόνι (SW):

- 9) $1.00 \cdot (DEAD+ADL) + 1.50 \cdot 0.70 \cdot Q + 0.6 \cdot W1_0 + 1.00 \cdot SW$
 10) $1.00 \cdot (DEAD+ADL) + 1.50 \cdot 0.70 \cdot Q + 0.6 \cdot W2_0 + 1.00 \cdot SW$
 11) $1.00 \cdot (DEAD+ADL) + 1.50 \cdot 0.70 \cdot Q + 0.6 \cdot W1_{90} + 1.00 \cdot SW$
 12) $1.00 \cdot (DEAD+ADL) + 1.50 \cdot 0.70 \cdot Q + 0.6 \cdot W2_{90} + 1.00 \cdot SW$

4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΟΡΕΑ ΥΠΟ ΣΤΑΤΙΚΟΥΣ ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΥΣ

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιούνται η διαστασιολόγηση και οι απαιτούμενοι έλεγχοι σε ΟΚΑ και ΟΚΛ, με την βοήθεια του στατικού προγράμματος *Robot Structural Analysis Professional* με βάση τον Ευρωκώδικα 3 και 4. Δημιουργήθηκαν ομάδες μελών, έτσι ώστε να αποφευχθεί η πληθώρα διαφορετικών διατομών που θα καθιστούσαν την κατασκευή περίπλοκη και αντισυμβατική.

Σε ότι αφορά τη Σύμμικτη Πλάκα, αυτή αναλύθηκε με την βοήθεια του προγράμματος *Symdeck Designer 2*, ενώ οι Σύμμικτες Διαδοκίδες διαστασιολογήθηκαν με την βοήθεια του προγράμματος *ArcelorMittal Beams Calculator*.

Για τους ελέγχους βελών στα μέλη λήφθηκαν υπόψη περιορισμοί, σύμφωνα με τον Κανονισμό. Στη φάση κατασκευής που δεν έχει επιτευχθεί σύμμικτη λειτουργία τα βέλη που δημιουργεί το ίδιο βάρος της δευτερεύουσας δοκού και του νωπού σκυροδέματος παραλαμβάνονται από τη μεταλλική δοκό ενώ στη φάση λειτουργίας δημιουργούνται τα βέλη λόγω των πρόσθετων μόνιμων και κινητών φορτίων και παραλαμβάνονται από τη σύμμικτη δοκό.

-Ορια κατακόρυφων βελών από συνολικά φορτία: $W_{max} = l/250$

-Ορια κατακόρυφων βελών από μεταβλητά φορτία: $W_2 = l/300$

(Όπου l =μήκος μέλους)

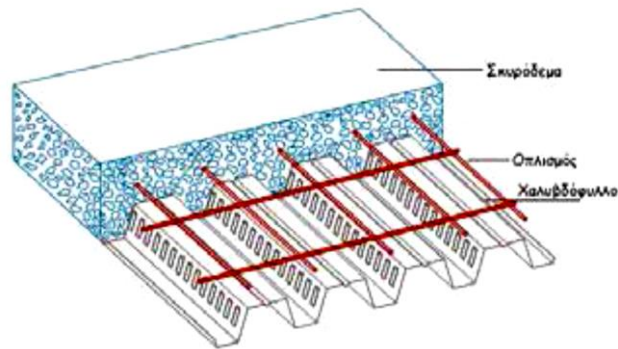
-Ορια οριζόντιων μετατοπίσεων σε πολυώροφα μεταλλικά κτίρια: $h/150$

(Όπου h =ύψος ορόφου)

4.1 Διαστασιολόγηση Σύμμικτης Πλάκας

Οι σύμμικτες πλάκες αποτελούνται από χαλυβδόφυλλα και επί τόπου έγχυτο σκυρόδεμα. Στο άνω μέρος της πλάκας διατάσσεται οπλισμός, συνήθως πλέγμα, για τον περιορισμό της ρηγμάτωσης και την παραλαβή των αρνητικών ροπών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1. Τα χαλυβδόφυλλα χρησιμεύουν στην φάση κατασκευής ως τύπος για το έγχυτο σκυρόδεμα και ως οπλισμός της πλάκας στην φάση λειτουργίας. Η συνεργασία χαλυβδόφυλλου – σκυροδέματος επιτυγχάνεται με την πρόβλεψη νευρώσεων στο χαλυβδόφυλλο και με διάταξη διατμητικών συνδέσμων (διατμητικών ήλων) στις στηρίξεις των χαλυβδόφυλλων.

Για το σχεδιασμό των σύμμικτων πλακών χρησιμοποιήθηκε χαλυβδόφυλλο *SYMDECK 73* (εταιρία: ΕΛΑΣΤΡΟΝ ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ) το οποίο είναι ένα γαλβανισμένο προφίλ τραπέζοειδούς σχήματος που χρησιμοποιείται για την κατασκευή σύμμικτων πλακών μεγάλων ανοιγμάτων. Το άνω πέλμα του είναι ενισχυμένο έναντι τοπικού λυγισμού με μία ενδιάμεση ενίσχυση στο μέσο του. Στο κορμό υπάρχουν ειδικές νευρώσεις (εντυπώματα) μήκους 40mm, τα οποία προσδίδουν την επιπλέον συνάφεια που απαιτείται μεταξύ χαλυβδόφυλλου και σκυροδέματος ούτως ώστε να μεταφέρονται οι δυνάμεις διαμήκους διάτμησης που αναπτύσσονται μεταξύ των δύο υλικών. Τα χαλυβδόφυλλα παράγονται με τα υψηλά επίπεδα ποιότητας FeE320G σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3, σε πάχη από 0,75 έως 1,25mm.



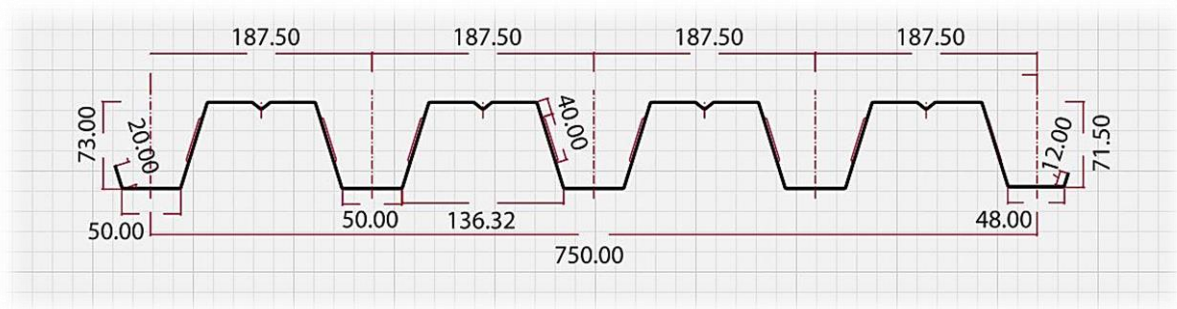
Σχήμα 4.1: Διαμόρφωση σύμμικτης πλάκας

- Ανάπτυγμα: 1250mm
- Πάχος: 0,75mm ~ 1,25mm ($\pm 0,02$)
- Κάλυψη: $750 \pm 5,0$ mm
- Βάθος: $73 \pm 1,0$ mm
- Πάτημα: $187,5 \pm 2,0$ mm

Με γνώμονα τις παραπάνω απαιτήσεις του Ευρωκώδικα 4 (Μέρος 1.1) επιλέχθηκε τελικά πλάκα συνολικού πάχους $h_{\pi\lambda}=150$ mm ($h_p=73$ mm, $h_c=77$ mm), με:

- Πάχος χαλυβδόφυλλου: $t_p=1,00$ mm
- Οπλισμούς Στηρίξεων: $\Phi 8/20$ ($=A_s, \min=0,2\%$ αποφυγή ρηγμάτωσης)
- Οπλισμούς Ανοιγμάτων: $\Phi 6/25$ ($=A_s, \min=0,1\%$ αποφυγή ρηγμάτωσης)
- Επικάλυψη οπλισμών: $c=30$ mm

Τοποθετήθηκαν συνεχή χαλυβδόφυλλα με τις νευρώσεις κάθετες στις διαδοκίδες, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.2.



Σχήμα 4.2: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά χαλυβδόφυλλου

Φορτίο Σχεδιασμού πλάκας 1^{ου}-2^{ου} ορόφου στην ΟΚΑ:

$$q_{ED} = 1,35 \cdot (DL + ADL) + 1,5 \cdot Q = 1,35 \cdot (2,73 + 0,7) + 1,5 \cdot (3 + 0,8) = 10.5 \text{ kN/m}^2$$

Φορτίο Σχεδιασμού πλάκας 3^{ου} ορόφου στην ΟΚΑ:

$$q_{ED} = 1,35 \cdot (DL + ADL) + 1,5 \cdot Q = 1,35 \cdot (2,73 + 2,6) + 1,5 \cdot 0,6 = 8.2 \text{ kN/m}^2$$

Καθώς τα φορτία διαφέρουν στους δύο πρώτους ορόφους σε σχέση με τον τελευταίο, για τον έλεγχο και τη διαστασιολόγηση των πλακών πραγματοποιήθηκαν δύο τομές και επιλέχθηκε ως δυσμενέστερο οι τομές αυτές (πλάτους $b=1\text{m}$) να γίνουν για το μεγαλύτερο άνοιγμα πλάκας μήκους $l=40\text{m}$.

Οι επιλύσεις έγιναν και για τις 2 τομές και προέκυψε ότι επαρκούσαν τα παραπάνω μεγέθη. Παρακάτω παρουσιάζεται ενδεικτικά η διαστασιολόγηση και ο έλεγχος της σύμμικτης πλάκας του 1^{ου} ορόφου:

The screenshot shows a software interface for slab design. The top section is titled "Project information" and displays a uniform load of 3.8 kN/m. Below this is a diagram of a slab with a series of downward arrows representing the load. The bottom section contains various input fields and calculated values for the slab design.

s/n	L (m)	q (kN/m ²)
1	2	3.8
2	2	3.8
3	2	3.8

Self weight G = 2.73 kN/m²
Additional dead l... 0.7 kN/m²

Draw slab

$\gamma_G = 1.35$ $\gamma_Q = 1.50$

General Construction phase checks Composite slab checks Fire resistance check

Diagram showing slab profile with dimensions t , c , and h .

Input fields and values:

- $t = 1.00$ mm
- $C: 25/30$ MPa
- $S: 500$ MPa
- $h = 0.15$ m
- $Fe: 320$ G MPa
- $\gamma_{M1} = 1.00$
- $\gamma_C = 1.50$
- $\gamma_S = 1.15$
- $c = 0.03$ m
- $A_s = 2.010$ cm²/m
- $\emptyset: 8$ mm / $d = 25$ cm

Calculated values:

- $M_{pl,Rd}^+ = 35.28$ kNm/m
- $M_{pl,Rd}^- = 9.46$ kNm/m
- $V_{Rd,c} = 31.40$ kN/m
- $m = 90.83$ MPa
- $k = 0.0144$ MPa
- $V_{1,Rd}$

Σχήμα 4.3: Γενικά Στοιχεία πλάκας 1^{ου}-2^{ου} ορόφου

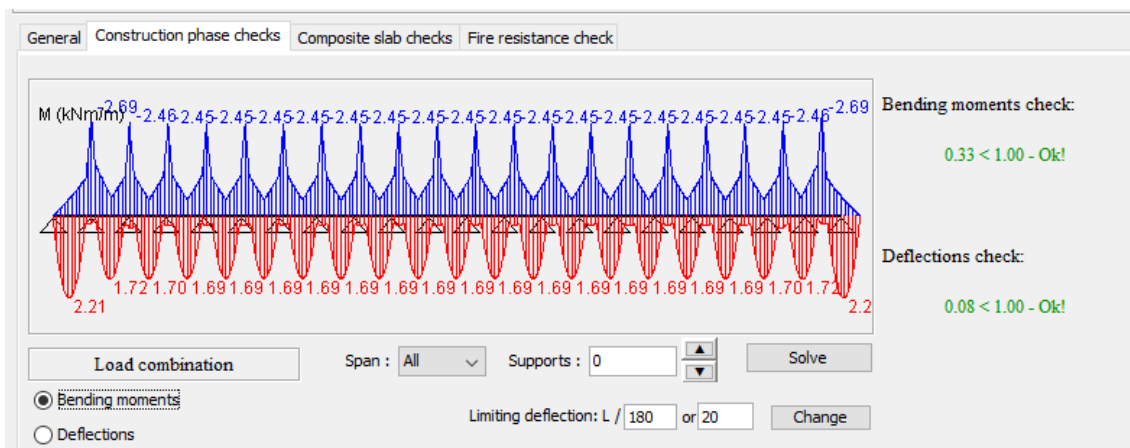
4.1.1 Φάση Κατασκευής

Στη φάση κατασκευής ο σχεδιασμός γίνεται με βάση τις οριακές καταστάσεις αστοχίας και λειτουργικότητας. Ειδικότερα ελέγχεται η δυνατότητα παραλαβής της ροπής κάμψης που προκαλούν τα δρώντα φορτία από το χαλυβδόφυλλο με το δεδομένο στατικό σύστημα.

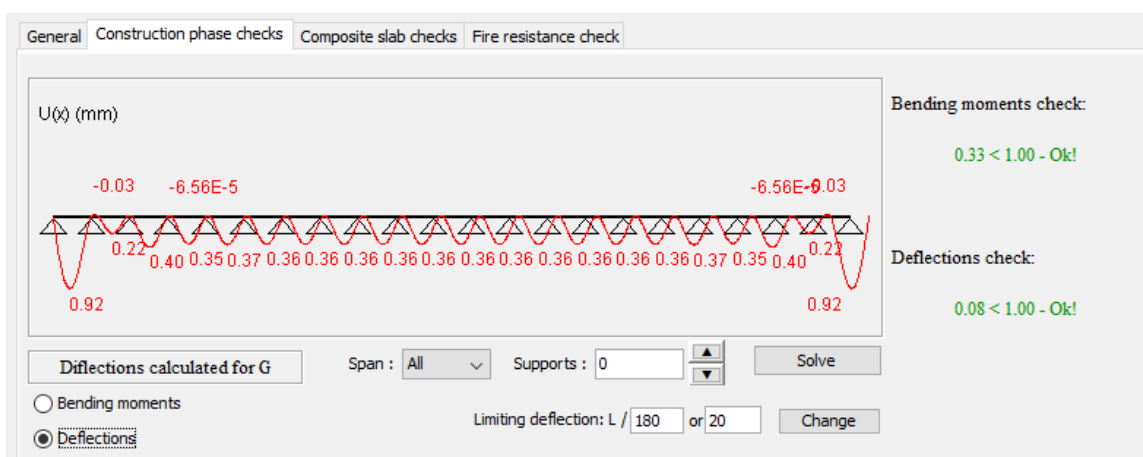
Τα φορτία που εφαρμόζονται είναι:

- το ίδιο βάρος χαλυβδόφυλλου,
- το ίδιο βάρος νωπού σκυροδέματος και
- φορτίο διάστρωσης (λαμβάνεται ως ωφέλιμο) ένα ομοιόμορφο κατανεμημένο 0,75kN/m² που δρα σε επιφάνεια 3m×3m. Εδώ συντηρητικά έγινε η παραδοχή ότι δρα σε όλο το μήκος.

Η οριακή κατάσταση αντοχής διεξάγεται σύμφωνα με τις διατάξεις του EN 1993-1-3 που αφορούν τις λεπτότοιχες διατομές ψυχρής διαμόρφωσης. Στην περίπτωση που για δεδομένο πάχος χαλυβδόφυλλου ο έλεγχος δεν ικανοποιείται, προβλέπονται ενδιάμεσες στηρίξεις στο χαλυβδόφυλλο. Επίσης θα πρέπει τα βέλη κάμψης που δημιουργούνται να είναι εντός των ορίων που καθορίζονται από τον Ευρωκώδικα 4.



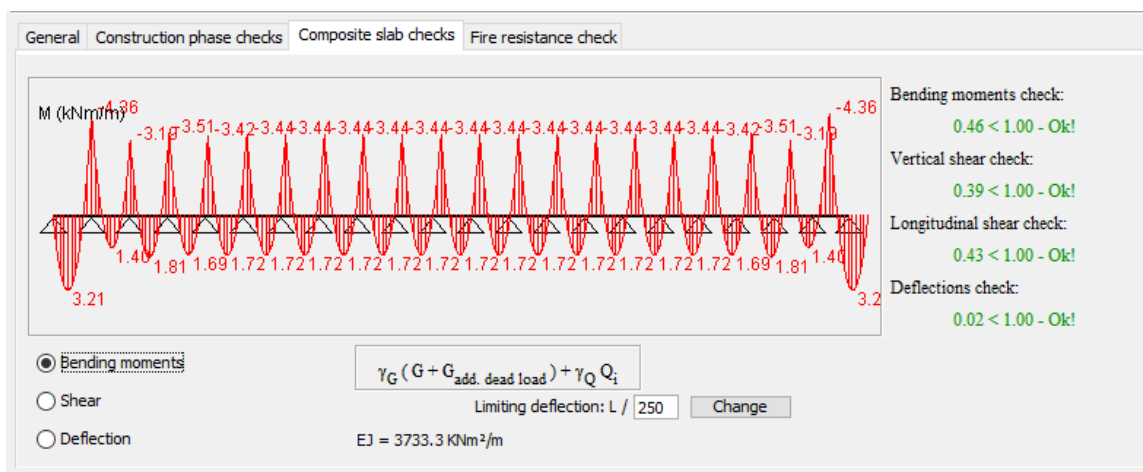
Σχήμα 4.4: Διάγραμμα ροπών σύμμικτης πλάκας και έλεγχοι κατά τη φάση κατασκευής



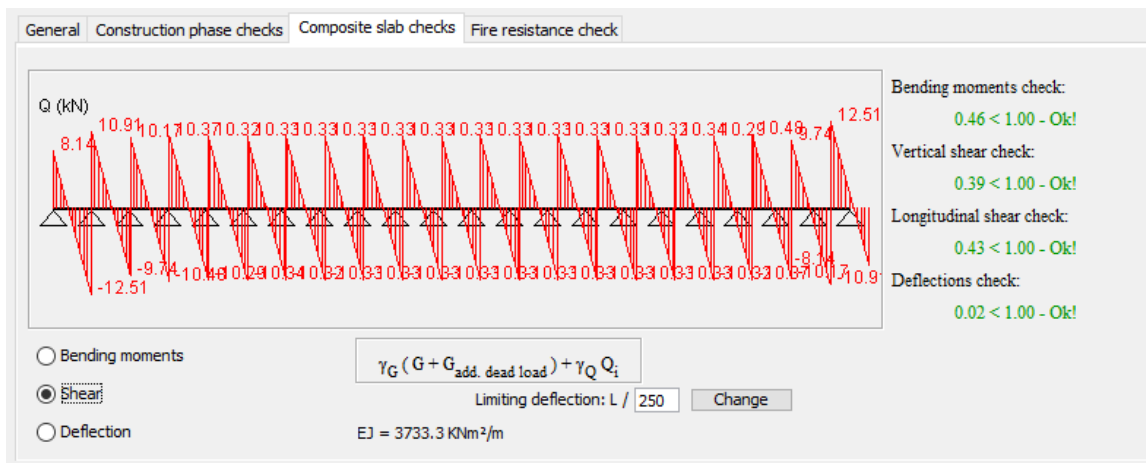
Σχήμα 4.5: Διάγραμμα βελών κάμψης κατά τη φάση κατασκευής

4.1.2 Φάση Λειτουργίας

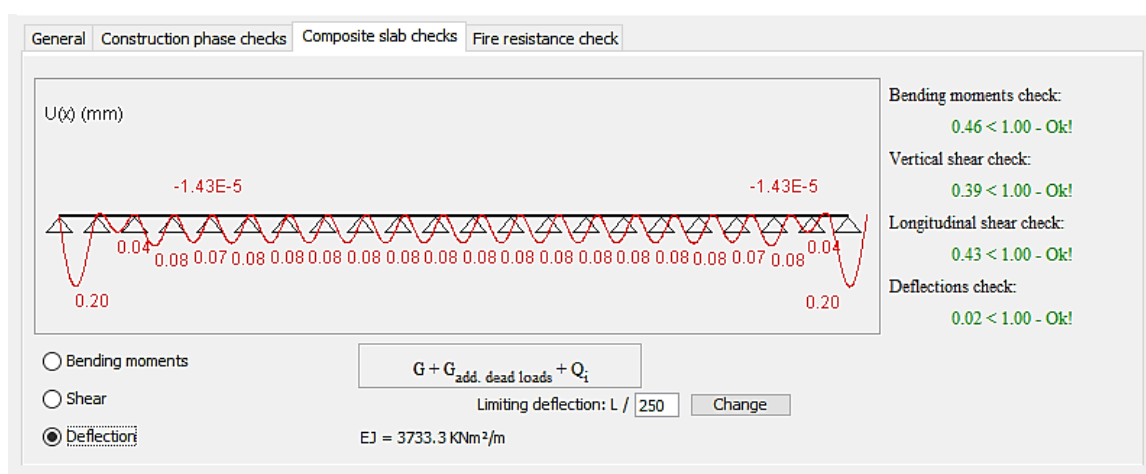
Διεξάγονται έλεγχοι τόσο σε ΟΚΑ, όσο και σε ΟΚΛ, ενώ τα φορτία που δρουν στη φάση λειτουργίας στη σύμμικτη πλάκα είναι τα ίδιο βάρος G και το ωφέλιμο φορτίο Q . Για τον προσδιορισμό των εντατικών μεγεθών του σύμμικτου φορέα λόγω των παραπάνω δράσεων, θεωρείται η επιβολή του ωφέλιμου φορτίου Q σ' όλη την επιφάνεια του φορέα.



Σχήμα 4.6: Διάγραμμα ροπών σύμμικτης πλάκας και έλεγχοι κατά τη φάση λειτουργίας



Σχήμα 4.7: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων σύμμικτης πλάκας και έλεγχοι κατά τη φάση λειτουργίας



Σχήμα 4.8: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων σύμμικτης πλάκας και έλεγχοι κατά τη φάση λειτουργίας

4.2 Διατμητικοί Ήλοι

Η διατμητική σύνδεση μεταξύ σιδηροδοκού και σκυροδέματος στις σύμμικτες δοκούς της κατασκευής εξασφαλίζεται μέσω κατάλληλης διάταξης διατμητικών συνδέσμων.

Ο αριθμός, η διάταξη καθώς και τα χαρακτηριστικά των διατμητικών ήλων καθορίστηκαν, με βάση το EN ISO 13918, σύμφωνα με τα παρακάτω:

- 1) Το ύψος h του κάθε διατμητικού ήλου θα πρέπει να απέχει απόσταση μεγαλύτερη των 20mm από την επιφάνεια του σκυροδέματος, μεγαλύτερη των 30mm από το υψηλότερο σημείο του χαλυβδόφυλλου και επίσης να βρίσκεται κατά το δυνατόν σε θλιβόμενο σκυρόδεμα (δηλαδή να έχει κατά το δυνατόν μεγαλύτερο h).
Άρα $150 - 73 = 77\text{mm} < h < 150 - 20 = 130\text{mm}$
Επιλέγεται ύψος ήλου: $h = 125\text{mm}$
- 2) Ως πάχος διατμητικών ήλων επιλέγεται $d = 19\text{mm}$.

Χρησιμοποιήθηκαν, λοιπόν, διατμητικοί ήλοι κεφαλής **TRW Nelson KB $\frac{3}{4}$ "-125** που αποτελούν και τον συνηθέστερο τύπο, με διάμετρο $d = 19\text{mm}$ και εφελκυστική αντοχή $f_u = 450\text{MPa}$.

4.3 Διαστασιολόγηση Σύμμικτων Δοκών και Διαδοκίδων

Οι πλάκες των ορόφων εδράζονται επί αμφιέριστων σύμμικτων διαδοκίδων (παράλληλων στη διεύθυνση Y) με πλάτος επιρροής 2m (εκτός των ακραίων δοκών κατά Y που είναι το μισό) και μήκος ίσο με 6m.

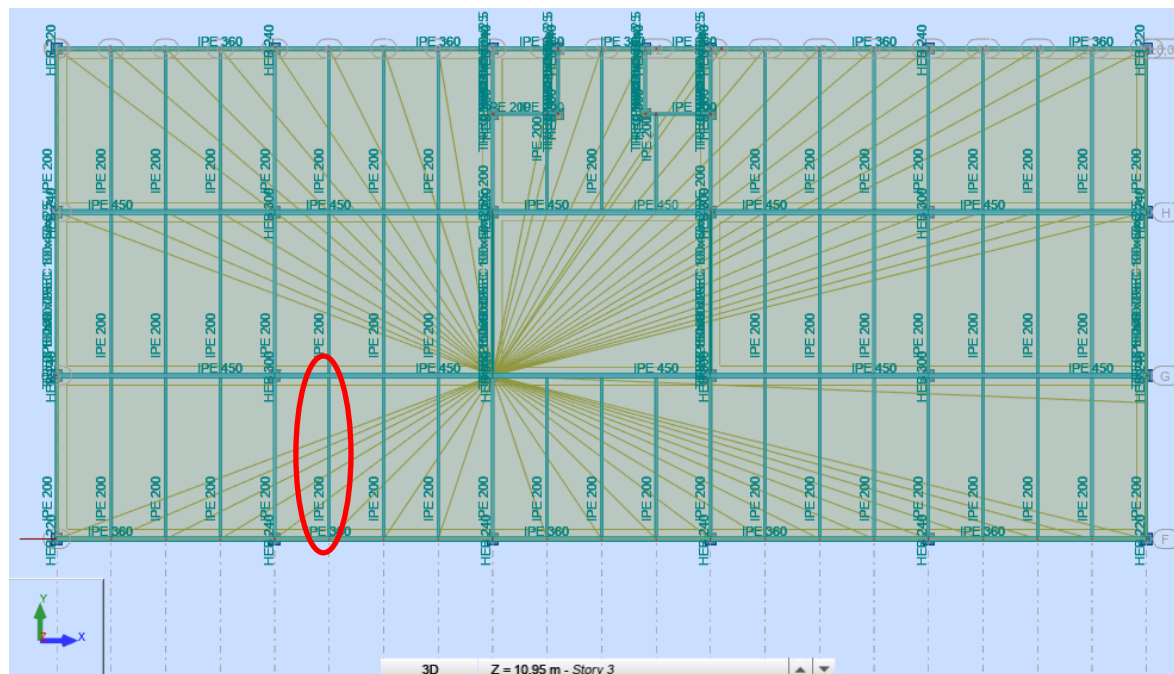
Στη φάση κατασκευής, τα παραπάνω μέλη δουλεύουν ως σιδηροδοκοί, επομένως βρέθηκε μετά από ελέγχους ότι κινδυνεύουν έναντι πλευρικού λυγισμού. Για τον λόγο αυτό και για λόγους οικονομίας αποφασίστηκε να γίνει προσωρινή υποστήριξη στα μισά του μήκους των μελών. Οπότε στην φάση κατασκευής οι δοκοί αντιμετωπίζονται ως συνεχείς δυο ανοιγμάτων, ενώ στη φάση λειτουργίας ως αμφιέριστες.

Παρακάτω παρατίθενται η διαστασιολόγηση και οι έλεγχοι μιας τυπικής διαδοκίδας του 3^{ου} ορόφου (Σχήμα 4.9), όπως πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του προγράμματος ArcelorMittal Beams Calculator. Παράλληλα πραγματοποιήθηκε και ο έλεγχος επάρκειας των διατμητικών ήλων.

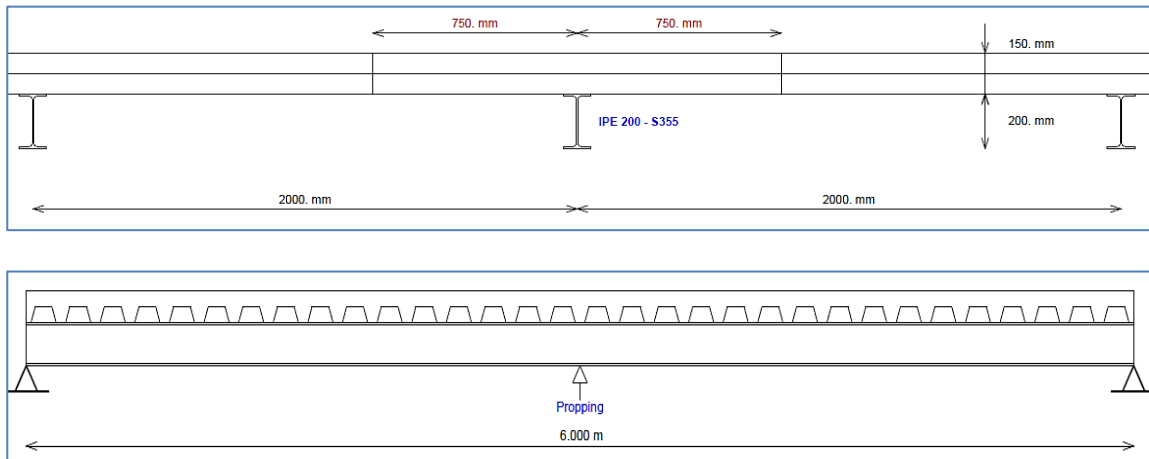
4.3.1 Έλεγχος Τυπικής διαδοκίδας 3^{ου} ορόφου

Τυπική διαδοκίδα Δ1065:

- Διατομή: IPE200
- Μήκος: $l=6m$
- Πλάτος επιρροής: $b=2m$



Σχήμα 4.9: Κάτοψη της εξεταζόμενης σύμμικτης διαδοκίδας



Σχήμα 4.10 : Τομές της σύμμικτης διαδοκίδας Δ_{1065}
(ArcelorMittal Beams Calculator)

Preliminary Design Note			
DATA			
<u>General parameters</u>		COMPOSITE BEAM	
Main span	L = 6.000 m		
Intermediate beam			
Width on the left	L ₁ = 2.000 m	Max. participating width	L ₁ = 1.000 m
Width on the right	L ₂ = 2.000 m	Max. participating width	L ₂ = 1.000 m
<u>Slab</u>			
Slab with profiled sheeting	Total thickness = 15.00 cm		
Profiled steel sheeting "", perpendicular to the beam (h = 73.0 mm ; e = 187.5 mm ; b ₁ = 50.0 mm ; b ₂ = 95.5 mm ; t = 1.00 mm ; f _y = 320 N/mm ² ; M = 0.00 daN/m ²)			
Sheeting not interrupted at beam			
<u>Section</u>		IPE 200 - S355 JR/J0/J2/K2	
	h _t = 200.0 mm	A =	28.48 cm ²
	b _f = 100.0 mm	A _v =	14.00 cm ²
	t _w = 5.6 mm	I _y =	1943.17 cm ⁴
	t _f = 8.5 mm	I _z =	142.37 cm ⁴
	r = 12.0 mm	I _t =	6.98 cm ⁴
		I _w =	12988.09 cm ³
		W _{el,y} =	194.32 cm ³
		W _{pl,y} =	220.64 cm ³
<u>Materials</u>			
Steel	E = 210000 N/mm ²		
	ρ = 7850 kg/m ³		
Steel grade S355 JR/J0/J2/K2 - Reduction of f _y with thickness according to EC3			
Databases 2016_01	Flanges	f _{yt} =	355 N/mm ²
	Web	f _{yw} =	355 N/mm ²
	Section	f _y =	355 N/mm ²
	ε	=	0.814
Concrete slab C25/30			
	f _{ck} =	25 N/mm ²	
	E _{cm} =	31476 N/mm ²	

Σχήμα 4.11: Γενικά στοιχεία διαδοκίδας

Στη *φάση κατασκευής* η διαδοκίδα παραλαμβάνει το ίδιο βάρος της, το ίδιο βάρος του χαλυβδόφυλλου, τα φορτία του νωπού σκυροδέματος της πλάκας και τα φορτία διάστρωσης του σκυροδέματος, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.12.

Στην *φάση λειτουργίας* η διαδοκίδα είναι πλέον σύμμικτη και αμφιέρειστη. Οπότε, ελέγχεται μόνο για θετικές ροπές με φορτία αυτά που είχε στη φάση κατασκευής επαυξημένα και με τα πρόσθετα μόνιμα και τα κινητά.

Modular ratio for LONG TERM	$C_{eq} = 23.74$	
Modular ratio for SHORT TERM	$C_{eq} = 6.67$	
Shrinkage (R) - Long term	$\varepsilon = 300 \cdot 10^{-8}$	
Density of the concrete (slab)	$\rho = 25.00 \text{ kN/m}^3$	
Reinforcement steel	$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$	
Connection		
Connectors TRW Nelson KB 3/4"-125		
ϕ	$= 19.0 \text{ mm}$	
h	$= 125.0 \text{ mm}$	
f_y	$= 350.0 \text{ N/mm}^2$	
f_u	$= 450.0 \text{ N/mm}^2$	
Main span	$L = 6.000 \text{ m} \quad e = 0.188 \text{ m} \quad n = 1 \text{ row(s)}$	
Total number of connectors : 32		
Lateral restraint of the beam - The beam is laterally restrained at supports		
Main span	$x = 3.00 \text{ m} \quad (\text{upper and lower flange laterally restrained})$	
Propping in the construction stage		
Number of proppings in the span : 1		
Loads		
Loads at construction stage		
Permanent loads (g)	Dead weight of the profile	0.22 kN/m
	Dead weight of the slab (2.73 kN/m ²)	5.46 kN/m
Construction load (Q _c)	$Q_c = 0.75 \text{ kN/m}^2$	1.50 kN/m
Loads at final stage		
Permanent loads	Dead weight of the profile	0.22 kN/m
	Dead weight of the slab (2.73 kN/m ²)	5.46 kN/m
Span	Surface load = 2.60 kN/m ²	
Live load case n° 1 ($\psi_0 = 0.70$)		
Span	Surface load = 0.60 kN/m ²	

Σχήμα 4.12: Γενικά στοιχεία διαδοκίδας, διατμητικών ήλων και φορτίων

Ακολουθούν οι έλεγχοι της διατομής στη Φάση Κατασκευής. Αρχικά πραγματοποιείται κατάταξη της διατομής σιδηροδοκού (έλεγχος κορμού σε κάμψη και πέλμα σε θλίψη) και με βάση τα φορτία πραγματοποιούνται οι έλεγχοι σε Διάτμηση και Κάμψη. Λόγω απουσίας πλευρικής εξασφάλισης ελέγχεται εν συνεχεία το μέλος σε Στρεπτοκαμπτικό Λυγισμό. (Σχήμα 4.13) καθώς και η ικανοποίηση του ελέγχου λειτουργικότητας, όπως φαίνεται και αργότερα.

<u>Partial Factors</u>			
Permanent loads	$\gamma_{G, sup} = 1.35$	Structural steel	$\gamma_{M0} = 1.00$
	$\gamma_{G, inf} = 1.00$	Structural steel (instabilities)	$\gamma_{M1} = 1.00$
Live loads	$\gamma_Q = 1.50$	Concrete	$\gamma_c = 1.50$
		Reinforcement bars	$\gamma_s = 1.15$
		Connectors	$\gamma_v = 1.25$
		Shear resistance of the steel sheeting	$\gamma_{ap} = 1.10$
<u>Combinations of actions</u>			
ULS combination (construction stage)		$1.35 G + 1.50 Q_c$	
ULS combination(s)		$1.35 G + 1.50 Q_1$	
SLS combination(s)		$G + R + Q_1$	

<u>CONSTRUCTION stage</u>					
Moment resistance	Section Class 1		$M_{Rd} =$	78.33 kN.m	
Plastic shear force resistance	$V_{pl,Rd} =$		286.95 kN	$(\eta = 1.20)$	
No risk of shear buckling ($h_w / t_w < 72 \varepsilon / \eta$ EN 1993-1-1 § 6.2.6(6)					
ULS combination (construction stage) : 1.35 G + 1.50 Q _c					
Support reactions			$R_{V1} =$	11.15 kN	
			$R_{V2} =$	37.19 kN	
			$R_{V3} =$	11.15 kN	
Critical amplification factor / Lateral Torsional Buckling					
$\mu_{cr} = 6.40$ (LTBeam calc. module)					
$M_{Ed,max}(+) =$	6.27 kN.m	$M_{Ed,max}(-) =$	-11.16 kN.m	$\Gamma_M =$	0.143 (x = 3.000 m)
$V_{Ed,max} =$	18.60 kN			$\Gamma_V =$	0.065 (x = 3.000 m)
				$\Gamma_{MV} =$	0.143 (x = 3.000 m)
				$\Gamma_{LT} =$	0.212
Support reactions			$R_{V1} =$	11.58 kN	
			$R_{V2} =$	32.97 kN	
			$R_{V3} =$	8.20 kN	
Critical amplification factor / Lateral Torsional Buckling					
$\mu_{cr} = 6.84$ (LTBeam calc. module)					
$M_{Ed,max}(+) =$	6.75 kN.m	$M_{Ed,max}(-) =$	-9.90 kN.m	$\Gamma_M =$	0.126 (x = 3.000 m)
$V_{Ed,max} =$	18.17 kN			$\Gamma_V =$	0.063 (x = 3.000 m)
				$\Gamma_{MV} =$	0.126 (x = 3.000 m)
				$\Gamma_{LT} =$	0.193

Σχήμα 4.13: Έλεγχοι διαδοκίδας στη φάση κατασκευής

Στο Σχήμα 4.14 παρουσιάζονται και οι μέγιστοι βαθμοί εκμετάλλευσης, όπως προέκυψαν από το πρόγραμμα, για τους ελέγχους κάμψης, διάτμησης, αλληλεπίδρασης κάμψης με αξονική και πλευρικού λυγισμού, ενώ στο Σχήμα 4.15 οι έλεγχοι λειτουργικότητας, όπου:

$$W = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} = 0.6 \text{ mm} + 0.8 \text{ mm} + 0.9 \text{ mm} = 2.3 \text{ mm} \quad (4.1)$$

$$W_{\max} = \frac{L}{250} = 2.4 \text{ mm} \quad (4.2)$$

Οπότε ικανοποιούνται οι έλεγχοι στη φάση κατασκευής.

Maximum criterion for bending resistance	$\Gamma_{M,\max} =$	0.143
Maximum criterion for shear force resistance	$\Gamma_{V,\max} =$	0.065
Maximum criterion for bending moment - shear force interaction	$\Gamma_{MV,\max} =$	0.143
Maximum criterion for lateral torsional buckling	$\Gamma_{LT,\max} =$	0.212

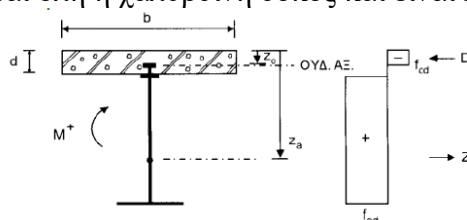
Σχήμα 4.14: Μέγιστοι βαθμοί εκμετάλλευσης για κάθε έλεγχο της διατομής

<u>Serviceability Limit States</u> (CONSTRUCTION stage)			
<u>Deflections per load case</u>			
Case 'Dead weight'	Span	$V_{\max} =$	0.6 mm (L / 9834)
Case 'Construction load' (Q_c)	<u>Arrangement n° 1</u>		
	Span	$V_{\max} =$	0.2 mm
	Total deflection	$V_{\max} =$	0.8 mm (L / 7778)
Case 'Construction load' (Q_c)	<u>Arrangement n° 2</u>		
	Span	$V_{\max} =$	0.3 mm
	Total deflection	$V_{\max} =$	0.9 mm (L / 6812)

Σχήμα 4.15: Έλεγχοι Λειτουργικότητας στη φάση κατασκευής

Στη συνέχεια ακολουθούν οι έλεγχοι της διατομής στη Φάση λειτουργίας όπου η διαδοκίδα, ως αμφιέρειστη με θλιβόμενο το άνω πέλμα το οποίο εξασφαλίζεται πλευρικά με την βοήθεια της πλάκας, δε διατρέχει κίνδυνο πλευρικής εκτροπής. Άρα, περιττεύει ο έλεγχος σε πλευρικό λυγισμό σε αυτή τη φάση.

Επειδή η θλιπτική δύναμη του σκυροδέματος προέκυψε μεγαλύτερη από την εφελκυστική δύναμη της σιδηροδοκού ($F_c > F_a$), όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα 4.17, ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται εντός της πλάκας σκυροδέματος ώστε να υπάρχει ισορροπία εσωτερικών δυνάμεων. Επομένως, εφελκύεται όλη η χαλύβδινη δοκός και είναι Κατηγορίας 1.



Σχήμα 4.16 Κατανομή Τάσεων σε διατομή με συμπαγή πλάκα για θετικές ροπές . Ουδέτερος άξονας στην πλάκα

FINAL stage

Participating width

on left support
 $L / 4 (= 1.500 \text{ m})$
 $3 L / 4 (= 4.500 \text{ m})$
on right support

$\} b_{eff}$

Moments of inertia

...at mid-span

Long-term

10219 cm⁴

Short-term

13735 cm⁴

Resistance of the connectors

$P_{Rd} = 36.92 \text{ kN}$

Verification of the degree of connection

Minimum degree of connection = 0.430

F_{Steel}

=

1011.19 kN

$F_{Concrete}$

=

1636.25 kN

Degree of connection = 0.584 > 0.430

The degree of connection is calculated for the section with maximum bending moment

Plastic resistance with partial connection

Plastic shear force resistance

$V_{pl,Rd} = 286.95 \text{ kN}$

$(\eta = 1.20)$

No risk of shear buckling ($h_w / t_w < 72 \varepsilon / \eta$)

ULS combination : 1.35 G + 1.50 Q₁

Support reactions

$R_{V1} = 49.46 \text{ kN}$

$R_{V2} = 49.46 \text{ kN}$

Calculation of the transverse reinforcement ratio of slab :

$A_s/s_f > 0.62 \text{ cm}^2/\text{m}$

$M_{Ed,max(+)} = 74.18 \text{ kN.m}$

$M_{Ed,max(-)} = 0.00 \text{ kN.m}$

$\Gamma_M = 0.437$

$(x = 3.700 \text{ m})$

$V_{Ed,max} = -49.46 \text{ kN}$

$\Gamma_V = 0.172$

$(x = 0.000 \text{ m})$

$\Gamma_{MV} = 0.437$

$(x = 3.700 \text{ m})$

$\Gamma_{Vh} = 0.328$

Σχήμα 4.17: Έλεγχοι διαδοκίδας στη φάση λειτουργίας

Σε ότι αφορά τη διατμητική σύνδεση μέσω των ήλων, όπως προαναφέρθηκε χρησιμοποιήθηκαν διατμητικοί ήλοι κεφαλής **TRW Nelson KB ¾”-125** με διάμετρο $d=19\text{mm}$ και εφελκυστική αντοχή $f_u=450\text{MPa}$. Το πρόγραμμα υπολόγισε την οριακή αντοχή ενός ήλου P_{RD} και ελέγχθηκε αν με βάση συγκεκριμένο αριθμό ήλων κατά μήκος της δοκού επαρκούσε. Ύστερα από ελέγχους προέκυψε ότι τοποθετώντας 1 σειρά αποτελούμενη από 32 ήλους επαρκεί ο έλεγχος με πλαστική ανάλυση.

Longitudinal shear resistance of the slab - Transverse reinforcing bars

Minimum transverse reinforcement ratio :
(EN 1994-1-1 §6.6.6.3 & EN 1992-1-1 §9.2.2(5))

$$\rho_{w,min} = 0.08 \%$$

$$A_s/s_f > 0.62 \text{ cm}^2/\text{m}$$

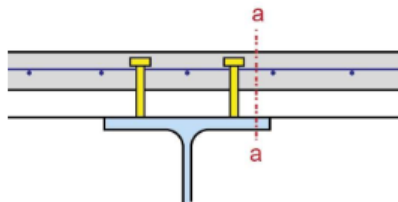
Reinforcement ratio (EN 1992-1-1 §6.2.4) :

$$A_s/s_f > 0.62 \text{ cm}^2/\text{m} (\rho_w > 0.08 \%)$$

Note: this result is provided as an indication.

Calculations must be performed in order to take into account specific conceptual details.

Note particularly that the calculations do not include the design of the slab.



Calculation according to the reinforcement configuration displayed above

Transverse reinforcement is assumed to be uniform along the length of the beam

Any other configuration requires a specific calculation

the reinforcement of a composite slab is generally provided by one layer only.

In order to transfer the longitudinal shear, the connectors should necessarily go through the reinforcement.

When another layer is added either in the sheeting ribs or in the slab,

their influence can be considered with a specific calculation.

The contribution of non continuous profiled steel sheeting to the longitudinal shear resistance has not been considered.

Plastic moment in span	$M_{pl,Rd} =$	180.27 kN.m
Maximum criterion for bending resistance	$\Gamma_{M,max} =$	0.437
Maximum criterion for shear force resistance	$\Gamma_{V,max} =$	0.172
Maximum criterion for bending moment - shear force interaction	$\Gamma_{MV,max} =$	0.437
Maximum criterion for longitudinal shear force resistance of slab	$\Gamma_{Vh,max} =$	0.328

Σχήμα 4.18: Μέγιστοι Βαθμοί εκμετάλλευσης για τους ελέγχους στη φάση λειτουργίας

Τέλος, στη φάση λειτουργίας για τους ελέγχους λειτουργικότητας θα πρέπει να ισχύει η σχέση (4.4) ,για το φορτίο της σύμμικτης δοκού. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.19 η απαίτηση αυτή ικανοποιείται.

$$W_{2,max} = \frac{l}{300} = 20\text{mm} > W_2 \quad (4.4)$$

Serviceability Limit States

Deflections per load case

Case 'Dead weight'	$v_{max} =$	4.5 mm (L / 1340)
Case 'Other permanent loads'	$v_{max} =$	4.1 mm (L / 1462)
Case 'Q ₁ '	$v_{max} =$	0.7 mm (L / 8525)
Case 'Shrinkage (R) - Long term'	$v_{max} =$	5.5 mm (L / 1097)

Deflections per combination

Combination SLS 'G + R + Q₁'

$$v_{max} = 14.8 \text{ mm (L / 407)}$$

Resistance criteria satisfied in the CONSTRUCTION stage

Resistance criteria satisfied in the FINAL stage

Σχήμα 4.19: Έλεγχοι λειτουργικότητας στη φάση λειτουργίας

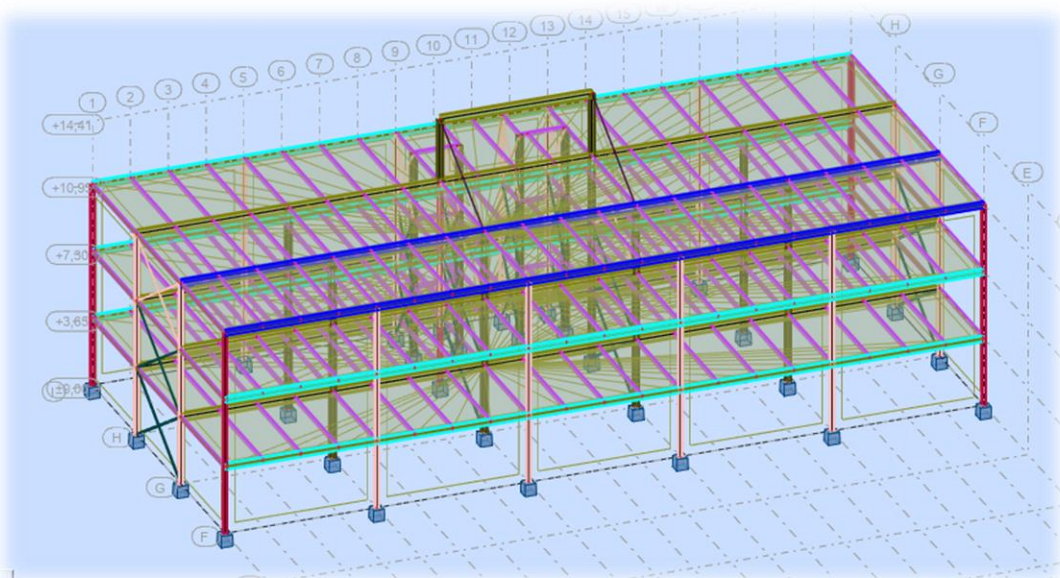
4.4 Διαστασιολόγηση Κύριων Δοκών- Υποστυλωμάτων & Συνδέσμων Δυσκαμψίας

Η προσομοίωση των κύριων δοκών, υποστυλωμάτων και χιαστί συνδέσμων δυσκαμψίας έγινε με γραμμικά στοιχεία τύπου frame sections, των οποίων οι διατομές εισήχθησαν στο λογισμικό μέσω της βιβλιοθήκης του. Αρχικά, εισήχθησαν όλες οι διατομές των σύμμικτων δοκών (IPE 200) που υπολογίστηκαν προηγουμένως, οι διατομές τύπου IPE των κύριων δοκών της διεύθυνσης X, οι διατομές τύπου HEB των υποστυλωμάτων και των χιαστί συνδέσμων δυσκαμψίας τύπου RHS. Στην συνέχεια, μέσω επαναληπτικής διαδικασίας προέκυψαν οι τελικές διατομές.

4.4.1 Κύριες Δοκοί κατά X (Δοκοί Πλαισίων Ροπής)

Αρχικά ομαδοποιήθηκαν οι κύριες δοκοί κατά X σε 2 κατηγορίες, όπως φαίνεται και στο παρακάτω Σχήμα 4.20.

- Δοκοί Ακραίων Πλαισίων Ροπής
- Δοκοί μεσαίων Πλαισίων Ροπής (+ Δοκός Στέγης)



Σχήμα 4.20: Κατηγορίες ομάδων κύριων δοκών πλαισίων ροπής

Οι κύριες δοκοί σε αυτή τη διεύθυνση δεν είναι συνδεδεμένες διατμητικά με την σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος οπότε δεν εξασφαλίζονται έναντι πλευρικού λυγισμού στη φάση λειτουργίας. Η σύνδεσή τους όμως με τις διαδοκίδες ανά 2m εξασφαλίζει τα πέλματά τους σε θλίψη.

Λόγω του διαφράγματος που δημιουργείται από την σύμμικτη πλάκα, δεν καταπονούνται από αξονικά φορτία, οπότε δεν υφίστανται καμπτικό λυγισμό.

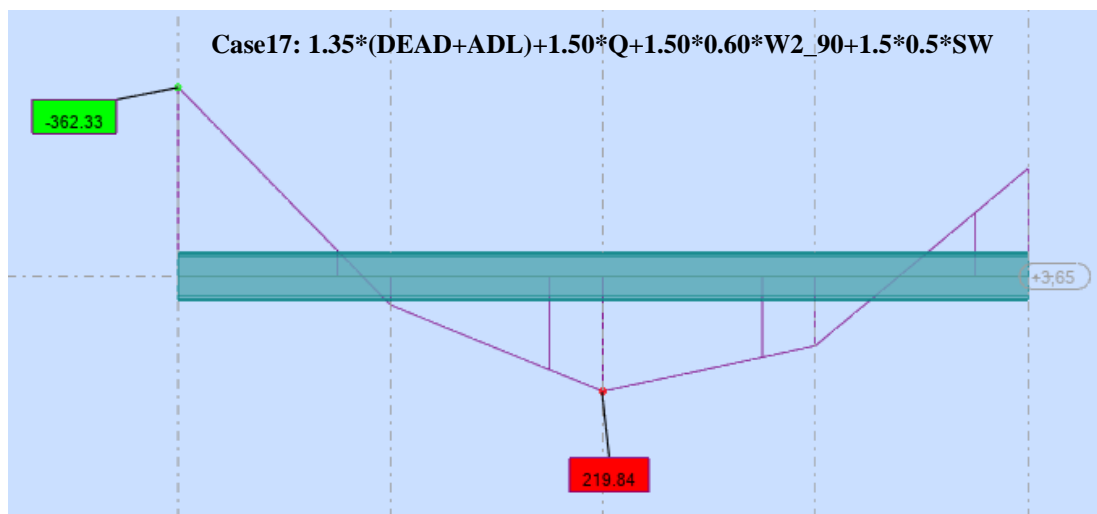
Η διαδικασία της διαστασιολόγησης και των ελέγχων πραγματοποιήθηκε σε ΟΚΑ και ΟΚΛ και ύστερα από επαναληπτικές διαδικασίες μέσω του προγράμματος Robot Structural Analysis προέκυψε στατική επάρκεια των κύριων δοκών για διατομές:

- Δοκοί Ακραίων Πλαισίων Ροπής → **IPE 360**
- Δοκοί μεσαίων Πλαισίων Ροπής (+ Δοκός Στέγης) → **IPE 450**

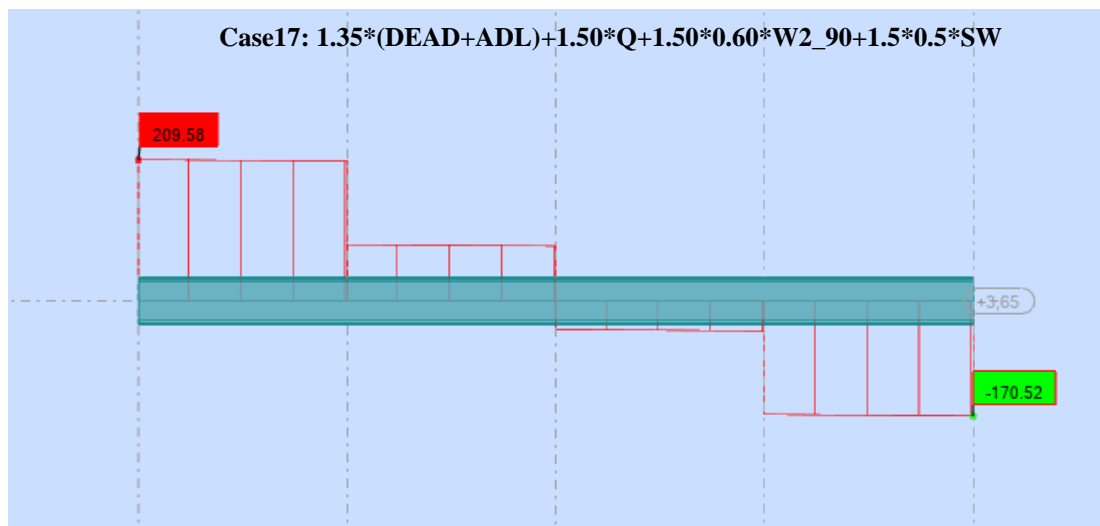
Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα εντατικά μεγέθη και ο έλεγχος για τη δυσμενέστερη δοκό (ΔΟΚΟΣ 71- IPE 450) του 1^{ου} ορόφου του μεσαίου πλαισίου, μήκους $l = 8$ m. Όπως προέκυψε από την ανάλυση, κρίσιμος συνδυασμός ήταν εκείνος σε ΟΚΑ με κύρια δράση το κινητό φορτίο Q και διεύθυνση ανέμου +Y:

$1.35 * (DEAD + ADL) + 1.50 * Q + 1.50 * 0.60 * W2_90 + 1.50 * 0.5 * SW$, (όπου $W2_90$ αντιστοιχεί σε $C_{pi} = -0.3$) και κατά τον οποίο η διατομή αξιοποιήθηκε σε ποσοστό 89%.

Σε ότι αφορά τα βέλη κάμψης κρίσιμότερος συνδυασμός ήταν αυτός με κύρια μεταβλητή δράση το Q και διεύθυνση ανέμου +X.



Σχήμα 4.21: Διάγραμμα ροπών κάμψης $M_{y,Ed}$, Δοκός 71



Σχήμα 4.22: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων $V_{z,Ed}$, Δοκός 71

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ: EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.
ΤΥΠΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ: ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕΛΟΥΣ

ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ:

ΜΕΛΟΣ: 71 ΔΟΚΟΣ Υ3_71

ΣΗΜΕΙΟ: 1

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ: $x = 0.00 L = 0.00 \text{ m}$

ΦΟΡΤΙΑ:

ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ: 17 COMB4: $1.35 \cdot (DL+ADL) + 1.5 \cdot Q + (1.5 \cdot 0.5) \cdot SW + (1.5 \cdot 0.6) \cdot W90_2 (1+2) \cdot 1.35 + 3 \cdot 1.50 + 4 \cdot 0.75 + 8 \cdot 0.90$

ΥΛΙΚΟ:

S355 (S355) $f_y = 355.00 \text{ MPa}$



ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΔΙΑΤΟΜΗΣ: ΙΡΕ 450

$h = 45.0 \text{ cm}$	$gM0 = 1.00$	$gM1 = 1.00$	
$b = 19.0 \text{ cm}$	$A_y = 63.21 \text{ cm}^2$	$A_z = 50.85 \text{ cm}^2$	$A_x = 98.82 \text{ cm}^2$
$t_w = 0.9 \text{ cm}$	$I_y = 33742.90 \text{ cm}^4$	$I_z = 1675.86 \text{ cm}^4$	$I_x = 63.80 \text{ cm}^4$
$t_f = 1.5 \text{ cm}$	$W_{ply} = 1701.92 \text{ cm}^3$	$W_{plz} = 276.39 \text{ cm}^3$	

ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΟΧΕΣ:

$N_{Ed} = -0.00 \text{ kN}$	$M_{y,Ed} = -362.33 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,Ed} = 0.00 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$V_{y,Ed} = 0.00 \text{ kN}$
$N_{t,Rd} = 3508.14 \text{ kN}$	$M_{y,pl,Rd} = 604.18 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,pl,Rd} = 98.12 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$V_{y,T,Rd} = 1295.62 \text{ kN}$
	$M_{y,c,Rd} = 604.18 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,c,Rd} = 98.12 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$V_{z,Ed} = 209.58 \text{ kN}$
	$MN_{y,Rd} = 604.18 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$MN_{z,Rd} = 98.12 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$V_{z,T,Rd} = 1042.12 \text{ kN}$
	$Mb,Rd = 405.16 \text{ kN} \cdot \text{m}$		$Tt,Ed = -0.00 \text{ kN} \cdot \text{m}$
			ΤΑΞΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ = 1



ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΛΕΥΡΙΚΟΥ ΛΥΓΙΣΜΟΥ:

$z = 1.00$	$M_{cr} = 770.81 \text{ kN} \cdot \text{m}$	ΚΑΜΠΥΛΗ, LT - b	$XLT = 0.67$
$L_{cr,low} = 2.00 \text{ m}$	$Lam_LT = 0.89$	$f_{l,LT} = 1.01$	

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΥΓΙΣΜΟΥ:



ΠΕΡΙ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ y:



ΠΕΡΙ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ z:

ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ:

ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΗΚΟΥΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ:

$N_{Ed}/N_{t,Rd} = 0.00 < 1.00$ (6.2.3.(1))
 $(M_{y,Ed}/MN_{y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/MN_{z,Rd})^{1.00} = 0.36 < 1.00$ (6.2.9.1.(6))
 $V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00$ (6.2.6-7)
 $V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.20 < 1.00$ (6.2.6-7)
 $\tau_{xy,Ed}/(f_y/(\sqrt{3}) \cdot gM0) = 0.00 < 1.00$ (6.2.6)
 $\tau_{xz,Ed}/(f_y/(\sqrt{3}) \cdot gM0) = 0.00 < 1.00$ (6.2.6)
ΟΛΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΜΕΛΟΥΣ:
 $M_{y,Ed}/M_{b,Rd} = 0.89 < 1.00$ (6.3.2.1.(1))

ΟΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ



ΕΚΤΡΟΠΕΣ (ΤΟΠΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ):

$u_y = 0.0 \text{ cm} < u_{y,max} = L/250.00 = 3.2 \text{ cm}$

ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ

ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ: 29 COMB17: $(DL+ADL+Q) + 0.5 \cdot SW + 0.6 \cdot W0_1 (1+2+3) \cdot 1.00 + 4 \cdot 0.50 + 5 \cdot 0.60$

$u_z = 0.9 \text{ cm} < u_{z,max} = L/250.00 = 3.2 \text{ cm}$

ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ

ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ: 29 COMB17: $(DL+ADL+Q) + 0.5 \cdot SW + 0.6 \cdot W0_1 (1+2+3) \cdot 1.00 + 4 \cdot 0.50 + 5 \cdot 0.60$

$u_{inst,y} = 0.0 \text{ cm} < u_{inst,max,y} = L/300.00 = 2.7 \text{ cm}$

ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ

ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ: $0.6 \cdot 4 + 0.7 \cdot 3 + 1 \cdot 8$

$u_{inst,z} = 0.5 \text{ cm} < u_{inst,max,z} = L/300.00 = 2.7 \text{ cm}$

ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ

ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ: $0.5 \cdot 4 + 1 \cdot 3 + 0.6 \cdot 5$



ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ): ΔΕΝ ΑΝΑΛΥΘΗΚΕ

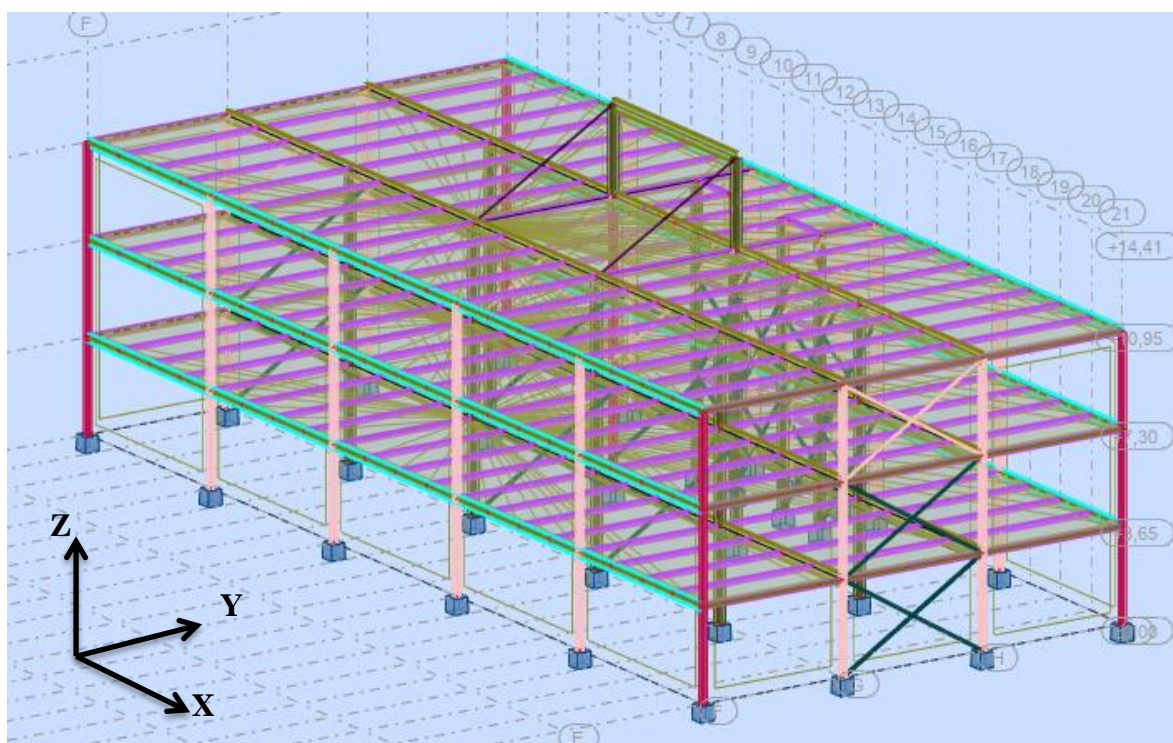
ΔΙΑΤΟΜΗ ΟΚ !!!

Σχήμα 4.23: Έλεγχος Δοκού-71 σε ΟΚΑ και ΟΚΛ, Robot Structural Analysis

4.4.2 Υποστυλώματα

Τα υποστυλώματα σχεδιάζονται ώστε να παραλάβουν όλα τα κατακόρυφα φορτία της κατασκευής, οπότε λόγω των πολύ μεγάλων θλιπτικών δυνάμεων που τα καταπονούν οι έλεγχοι σε λυγισμό είναι ιδιαίτερα κρίσιμοι. Για λόγους κατασκευαστικής ευκολίας και οικονομίας, επιλέχθηκε η διατομή τους να παραμείνει σταθερή καθ' ύψος. Στη βάση τους, η θεμελίωση τους με το έδαφος, στο πρόγραμμα Robot Structural Analysis προσομοιώθηκε με πακτώσεις. Αρχικά ομαδοποιήθηκαν τα υποστυλώματα σε τέσσερις κατηγορίες (όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.24) για πιο εύκολη διαχείριση των αποτελεσμάτων:

- Στα γωνιακά υποστυλώματα
- Στα ακραία υποστυλώματα κατά X των πλαισίων ροπής
- Στα ακραία υποστυλώματα κατά Y
- Στα μεσαία υποστυλώματα



Σχήμα 4.24: Κατηγορίες ομάδων υποστυλωμάτων

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, έχουν τοποθετηθεί κατάλληλα οι διατομές τους ώστε στη διεύθυνση των πλαισίων ροπής να ενεργοποιείται ο ισχυρός τους άξονας οπότε λειτουργούν και στα πλαίσια ροπής για τον υπολογισμό του μήκους λυγισμού, ενώ κατά τον ασθενή άξονα το μήκος λυγισμού υπολογίζεται ξεχωριστά για κάθε υποστυλώμα μέσω της σχέσης δυσκαμψιών του Ευρωκώδικα.

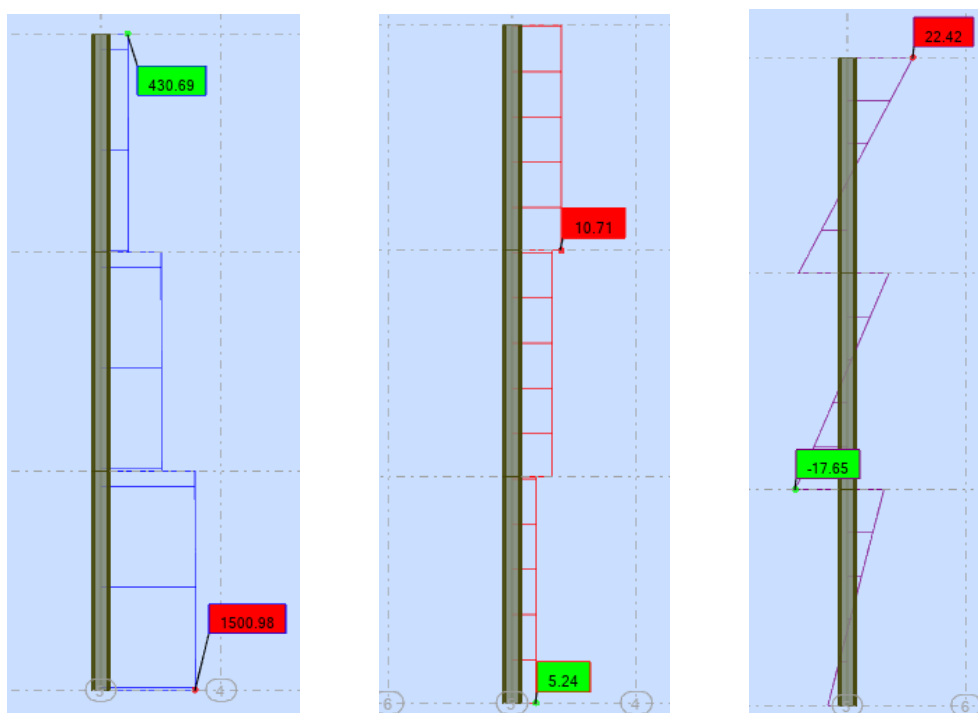
Η διαδικασία της διαστασιολόγησης και των ελέγχων πραγματοποιήθηκε σε ΟΚΑ και ΟΚΛ και ύστερα από επαναληπτικές διαδικασίες μέσω του προγράμματος Robot Structural Analysis προέκυψε στατική επάρκεια των υποστυλωμάτων για διατομές:

- Στα γωνιακά υποστυλώματα → **HEB 220**
- Στα ακραία υποστυλώματα κατά X (πλαισίων ροπής) → **HEB 240**
- Στα ακραία υποστυλώματα κατά Y → **HEB 240**
- Στα μεσαία υποστυλώματα → **HEB 300**

Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα εντατικά μεγέθη και ο έλεγχος για το δυσμενέστερο υποστυλώμα (ΥΠ/ΜΑ 14- HEB 300) του ισογείου και μήκους $l = 3.65 \text{ m}$. Όπως προέκυψε από την ανάλυση, κρίσιμος συνδυασμός ήταν εκείνος σε ΟΚΑ με κύρια δράση το κινητό φορτίο Q και διεύθυνση ανέμου +Y:

$1.35 \cdot (\text{DEAD} + \text{ADL}) + 1.50 \cdot Q + 1.50 \cdot 0.60 \cdot W2_90 + 1.5 \cdot 0.5 \cdot \text{SW}$, (όπου W2_90 αντιστοιχεί σε $C_{pi} = -0.3$) και κατά τον οποίο η διατομή αξιοποιήθηκε σε ποσοστό 40%.

Case17: $1.35 \cdot (\text{DEAD} + \text{ADL}) + 1.50 \cdot Q + 1.50 \cdot 0.60 \cdot W2_90 + 1.5 \cdot 0.5 \cdot \text{SW}$



Σχήμα 4.25: Διαγράμματα Αξονικών Δυνάμεων, Τεμνουσών Δυνάμεων και Ροπών Κάμψης κατά Y, Υποστυλώματος 14

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ: EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.
ΤΥΠΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ: ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕΛΟΥΣ

ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ:

ΜΕΛΟΣ: 14 ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ-14 ΣΗΜΕΙΟ: 2
1.83 m

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΟΣ: $x = 0.50 L =$

ΦΟΡΤΙΑ:

ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ: 17 COMB4: $1.35 \cdot (DL+ADL) + 1.5 \cdot Q + (1.5 \cdot 0.5) \cdot SW + (1.5 \cdot 0.6) \cdot W90_2 (1+2) \cdot 1.35 + 3 \cdot 1.50 + 4 \cdot 0.75 + 8 \cdot 0.90$

ΥΛΙΚΟ:

S355 (S355) $f_y = 355.00 \text{ MPa}$



ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΔΙΑΤΟΜΗΣ: HEB 300

$h=30.0 \text{ cm}$	$gM0=1.00$	$gM1=1.00$	
$b=30.0 \text{ cm}$	$A_y=126.20 \text{ cm}^2$	$A_z=47.43 \text{ cm}^2$	$A_x=149.08 \text{ cm}^2$
$tw=1.1 \text{ cm}$	$I_y=25165.70 \text{ cm}^4$	$I_z=8562.83 \text{ cm}^4$	$I_x=186.00 \text{ cm}^4$
$tf=1.9 \text{ cm}$	$W_{ply}=1868.80 \text{ cm}^3$	$W_{plz}=870.16 \text{ cm}^3$	

ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΟΧΕΣ:

$N_{Ed} = 1498.15 \text{ kN}$	$M_{y,Ed} = 2.93 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z,Ed} = 1.44 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{y,Ed} = 1.64 \text{ kN}$
$N_{c,Rd} = 5292.27 \text{ kN}$	$M_{y,Ed,max} = 12.48 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z,Ed,max} = 4.43 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{y,T,Rd} = 2586.53 \text{ kN}$
$N_{b,Rd} = 4060.67 \text{ kN}$	$M_{y,c,Rd} = 663.42 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z,c,Rd} = 308.91 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{z,Ed} = 5.24 \text{ kN}$
	$M_{N,y,Rd} = 539.04 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{N,z,Rd} = 307.70 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{z,T,Rd} = 972.08 \text{ kN}$
	$M_{b,Rd} = 644.79 \text{ kN}\cdot\text{m}$		$T_{t,Ed} = 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$
			ΤΑΞΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ = 1



ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΛΕΥΡΙΚΟΥ ΛΥΓΙΣΜΟΥ:

$z = 0.00$	$M_{cr} = 6334.59 \text{ kN}\cdot\text{m}$	ΚΑΜΠΥΛΗ, LT - a	$\chi_{LT} = 0.97$
$L_{cr,upp} = 3.65 \text{ m}$	$\lambda_{m,LT} = 0.32$	$\bar{\alpha}_{LT} = 0.57$	

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΥΓΙΣΜΟΥ:



ΠΕΡΙ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ y:

$L_y = 3.65 \text{ m}$	$\lambda_{m,y} = 0.48$
$L_{cr,y} = 4.81 \text{ m}$	$\chi_y = 0.89$
$\lambda_{my} = 37.05$	$k_{zy} = 0.39$



ΠΕΡΙ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ z:

$L_z = 3.65 \text{ m}$	$\lambda_{m,z} = 0.63$
$L_{cr,z} = 3.65 \text{ m}$	$\chi_z = 0.77$
$\lambda_{mz} = 48.16$	$k_{zz} = 0.63$

ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ:

ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΗΚΟΥΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ:

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.28 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$
 $(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^2 + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^2 = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$
 $V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$
 $V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$
 $\tau_{ty,Ed}/(\bar{f}_y/(\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$
 $\tau_{tz,Ed}/(\bar{f}_y/(\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$

ΟΛΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΜΕΛΟΥΣ:

$\lambda_{m,y} = 37.05 < \lambda_{m,y,max} = 210.00 \quad \lambda_{m,z} = 48.16 < \lambda_{m,z,max} = 210.00 \quad \text{ΣΤΑΘΕΡΟ}$
 $M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.02 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$
 $N_{Ed}/(\chi_y \cdot N_{c,Rd}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(\chi_{LT} \cdot M_{y,Rd}/gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rd}/gM1) = 0.34 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$

$N_{Ed}/(\chi_z \cdot N_{c,Rd}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(\chi_{LT} \cdot M_{y,Rd}/gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rd}/gM1) = 0.39 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$

ΟΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ



ΕΚΤΡΟΠΕΣ (ΤΟΠΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ): ΔΕΝ ΑΝΑΛΥΘΗΚΕ



ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ):

$v_x = 0.1 \text{ cm} < v_{x,max} = L/150.00 = 2.4 \text{ cm} \quad \text{ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ}$
ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ: 38 COMB26: $(DL+ADL+W0_2)+0.7 \cdot Q+0.6 \cdot SW (1+2+6) \cdot 1.00+3 \cdot 0.70+4 \cdot 0.60$
 $v_y = 0.1 \text{ cm} < v_{y,max} = L/150.00 = 2.4 \text{ cm} \quad \text{ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ}$
ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ: 40 COMB28: $(DL+ADL+W90_2)+0.7 \cdot Q+0.6 \cdot SW (1+2+8) \cdot 1.00+3 \cdot 0.70+4 \cdot 0.60$

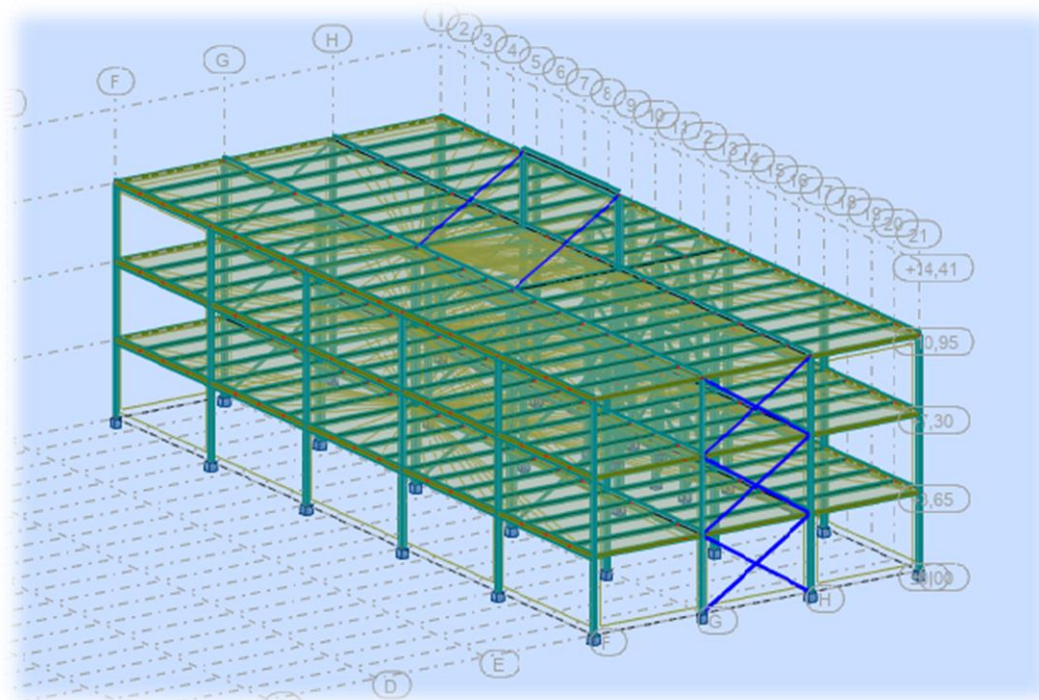
ΔΙΑΤΟΜΗ ΟΚ !!!

Σχήμα 4.26: Έλεγχοι Υπ/τος-740 σε ΟΚΑ και ΟΚΛ, Robot Structural Analysis

4.4.3 Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας

Οι χιαστοί σύνδεσμοι δυσκαμψίας προσομοιώθηκαν στο πρόγραμμα Robot Structural Analysis για δυνατότητα παραλαβής μόνο αξονικών δυνάμεων (truss bars-only axial forces act) και μήκος λυγισμού ίσο με το μισό του φυσικού τους μήκους. Αρχικά ομαδοποιήθηκαν σε τέσσερις κατηγορίες (όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.27):

- Στους χιαστί συνδέσμους δυσκαμψίας ισογείου
- Στους χιαστί συνδέσμους δυσκαμψίας 1^{ου} ορόφου
- Στους χιαστί συνδέσμους δυσκαμψίας 2^{ου} ορόφου
- Στους χιαστί συνδέσμους δυσκαμψίας στέγης (θα έχουν διαφορετικές απαιτήσεις ορίων λειτουργικότητας, όπως και διαφορετικό μήκος λυγισμού)



Σχήμα 4.27: Κατηγορίες ομάδων χιαστί συνδέσμων δυσκαμψίας

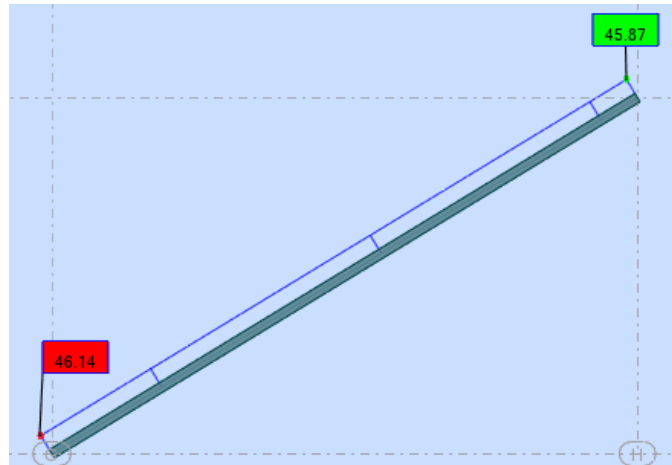
Η διαδικασία της διαστασιολόγησης και των ελέγχων πραγματοποιήθηκε σε ΟΚΑ και ΟΚΛ και ύστερα από επαναληπτικές διαδικασίες προέκυψαν οι εξής διατομές:

- Στους ορόφους ισόγειο-1^{ος} → **RHS 100x50x2.5**
- Στον 2^ο όροφο → **RHS 80x40x2.5**
- Στη στέγη → **RHS 50x30x2**

Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα εντατικά μεγέθη και ο έλεγχος για το δυσμενέστερο χιαστί σύνδεσμο δυσκαμψίας (Ράβδος 92 - RHS 100x50x2.5) του ισογείου μήκους $l=7,02m$. Όπως προέκυψε από την ανάλυση, κρίσιμος συνδυασμός ήταν εκείνος σε ΟΚΑ με κύρια δράση τον άνεμο W90_2 με διεύθυνση +Y:

$$1.35*(DEAD+ADL)+1.50* W90_2+ (1.50*0.70)*Q+(1.5*0.5)*SW,$$

(όπου W90_2 αντιστοιχεί σε $C_{pi}= -0.3$) και κατά τον οποίο η διατομή αξιοποιήθηκε σε ποσοστό 95%.



Σχήμα 4.28: Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων συνδέσμου δυσκαμψίας ισογείου

ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ:

ΜΕΛΟΣ: 92 ΑΠΛΗ ΡΑΒΔΟΣ_92 ΣΗΜΕΙΟ: 3
7.02 m

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΟΣ: $x = 1.00 L =$

ΦΟΡΤΙΑ:

ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ: 25 COMB12:1.35* (DL+ADL)+1.5*W90_2+(1.5*0.7)*Q+(1.5*0.5)*SW (1+2)*1.35+8*1.50+3*1.05+4*0.75

ΥΛΙΚΟ:

S355 (S355) $f_y = 355.00 \text{ MPa}$



ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΔΙΑΤΟΜΗΣ: TREC 100x50x2.5

$h=10.0 \text{ cm}$	$gM0=1.00$	$gM1=1.00$	
$b=5.0 \text{ cm}$	$A_y=2.38 \text{ cm}^2$	$A_z=4.76 \text{ cm}^2$	$A_x=7.14 \text{ cm}^2$
$t_w=0.3 \text{ cm}$	$I_y=107.71 \text{ cm}^4$	$I_z=32.28 \text{ cm}^4$	$I_x=73.96 \text{ cm}^4$
$t_f=0.3 \text{ cm}$	$W_{ely}=21.54 \text{ cm}^3$	$W_{elz}=12.91 \text{ cm}^3$	
			$A_{eff}=6.79 \text{ cm}^2$

ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΟΧΕΣ:

$N_{Ed} = 46.14 \text{ kN}$
 $N_{c,Rd} = 253.47 \text{ kN}$
 $N_{b,Rd} = 48.75 \text{ kN}$

ΤΑΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ = 3



ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΛΕΥΡΙΚΟΥ ΛΥΓΙΣΜΟΥ:

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΥΓΙΣΜΟΥ:



ΠΕΡΙ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ y:

$L_y = 7.02 \text{ m}$ $L_{cr,y} = 3.51 \text{ m}$ $L_{am,y} = 1.15$
 $L_{cr,y} = 3.51 \text{ m}$ $X_y = 0.56$ $L_{am,y} = 90.41$



ΠΕΡΙ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ z:

$L_z = 7.02 \text{ m}$ $L_{cr,z} = 3.51 \text{ m}$ $L_{am,z} = 2.11$
 $L_{cr,z} = 3.51 \text{ m}$ $X_z = 0.20$ $L_{am,z} = 165.14$

ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ:

ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΗΚΟΥΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ:

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.18 < 1.00$ (6.2.4.(1))

ΟΛΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΜΕΛΟΥΣ:

$\Lambda_{bda,y} = 90.41 < \Lambda_{bda,max} = 210.00$ $\Lambda_{bda,z} = 165.14 < \Lambda_{bda,max} = 210.00$ ΣΤΑΘΕΡΟ
 $N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0.95 < 1.00$ (6.3.1.1.(1))

ΟΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ



ΕΚΤΡΟΠΕΣ (ΤΟΠΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ):

$u_y = 0.0 \text{ cm} < u_{y,max} = L/250.00 = 2.8 \text{ cm}$ ΕΠΙΛΗΘΕΥΕΤΑΙ
ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ: 37 COMB25: (DL+ADL+W0_1)+0.7*Q+0.6*SW (1+2+5)*1.00+3*0.70+4*0.60
 $u_z = 0.0 \text{ cm} < u_{z,max} = L/250.00 = 2.8 \text{ cm}$ ΕΠΙΛΗΘΕΥΕΤΑΙ
ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ: 38 COMB26: (DL+ADL+W0_2)+0.7*Q+0.6*SW (1+2+6)*1.00+3*0.70+4*0.60
 $u_{inst,y} = 0.0 \text{ cm} < u_{inst,max,y} = L/300.00 = 2.3 \text{ cm}$ ΕΠΙΛΗΘΕΥΕΤΑΙ
ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ: $0.6*4 + 0.7*3 + 1*5$

$u_{inst,z} = 0.0 \text{ cm} < u_{inst,max,z} = L/300.00 = 2.3 \text{ cm}$

ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ

ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ: $0.6 \cdot 4 + 0.7 \cdot 3 + 1 \cdot 8$



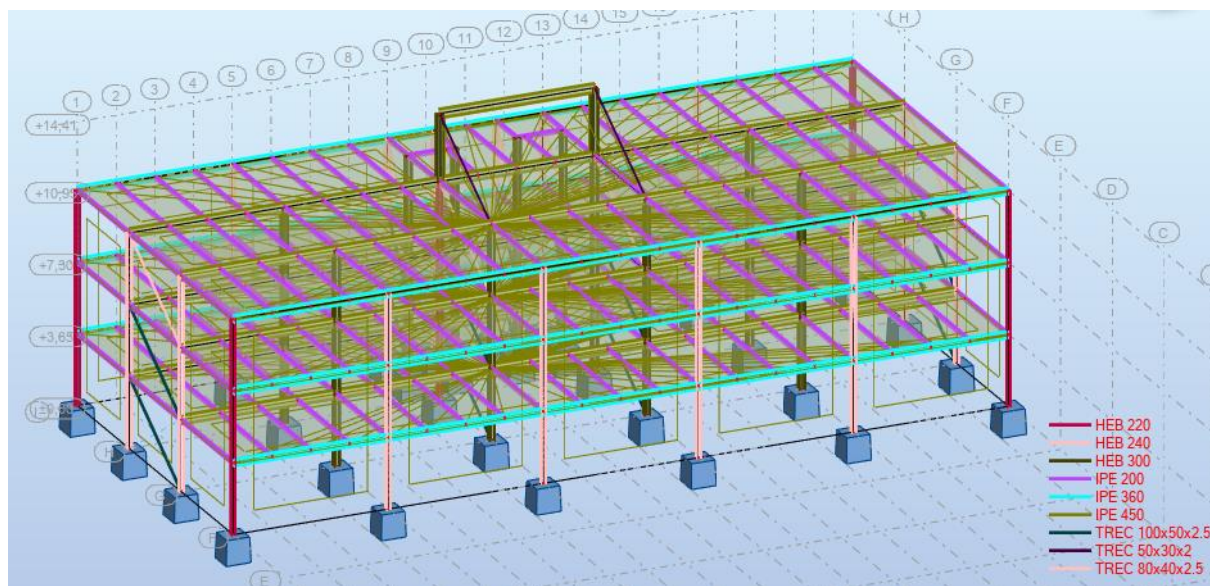
ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ): ΔΕΝ ΑΝΑΛΥΘΗΚΕ

ΔΙΑΤΟΜΗ OK !!!

Σχήμα 4.29: Έλεγχοι συνδέσμου δυσκαμψίας ισογείου

4.4.4 Συμπεράσματα

Ύστερα από τη διαστασιολόγηση του φορέα υπό στατικούς συνδυασμούς προέκυψαν οι παρακάτω διατομές.



Σχήμα 4.30: Τελικές διατομές φορέα από Στατική διαστασιολόγηση

Τελικές Διατομές

- ✓ Κύριες Ακραίες Δοκοί: **IPE 360**
- ✓ Κύριες Μεσαίες Δοκοί: **IPE 450**
- ✓ Γωνιακά Υποστυλώματα: **HEB 220**
- ✓ Ακραία Εξωτερικά Υποστυλώματα Πλαισίων: **HEB 240**
- ✓ Κεντρικά Υποστυλώματα: **HEB 300**
- ✓ Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας ισογείου & 1^{ου} ορόφου : **RHS 100x50x2.5**
- ✓ Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας 2^{ου} ορόφου : **RHS 80x40x2.5**
- ✓ Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας Κεκλιμένης Οροφής (l=7.02m): **RHS 50x30x2**

Στις διατομές αυτές πραγματοποιήθηκαν τελικά κάποιες αλλαγές, όπως φαίνεται και στο παρακάτω κεφάλαιο, ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις που θέτει ο Ευρωκώδικας 8 για τον αντισεισμικό σχεδιασμό.

5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΟΡΕΑ ΥΠΟ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥΣ ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΥΣ

5.1 Γενικά

Η δυναμική ανάλυση της κατασκευής, πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της ιδιομορφικής ανάλυσης φάσματος απόκρισης. Με τη μέθοδο αυτή υπολογίζονται οι ιδιομορφές της κατασκευής και στη συνέχεια λαμβάνονται υπόψη τόσες ιδιομορφές ώστε το άθροισμα των ιδιομορφικών μαζών να γίνεται μεγαλύτερο ή ίσο του 90% της συνολικής ταλαντευόμενης μάζας κατά τις διευθύνσεις x και y . Ως συμμετέχουσα μάζα ορίστηκε η μάζα που προέρχεται από τα μόνιμα φορτία G και τα κινητά φορτία Q πολλαπλασιασμένα με τον συντελεστή 0,3. Κατά τη ανάλυση σεισμού στη διεύθυνση Y , στην οποία υπάρχουν κεντρικοί σύνδεσμοι δυσκαμψίας, εκείνοι οι οποίοι βρίσκονται υπό θλίψη αγνοούνται υπέρ της ασφαλείας (εντολή *inactive*) και λαμβάνονται υπόψη μόνο εκείνοι που βρίσκονται υπό εφελκυσμό. Με τον τρόπο αυτό οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας μπορούν να αναπτύξουν σημαντικές πλαστικές παραμορφώσεις πριν την αστοχία τους.

Αφού εισήχθησαν όλα τα σεισμικά δεδομένα στο πρόγραμμα και πραγματοποιήθηκε η Ιδιομορφική ανάλυση για συνολικά 30 ιδιομορφές, προέκυψε ότι απαιτούνται 7 ιδιομορφές ώστε το άθροισμα των ιδιομορφικών μαζών να φθάσει το 90% της συνολικής μάζας και για τις 2 διευθύνσεις σεισμού.

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ/ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (Hz)	ΠΕΡΙΟΔΟΣ (sec)	ΣΧΕΤ.ΜΑΖΑ.U X (%)	ΣΧΕΤ.ΜΑΖΑ.U Y (%)	ΤΡΕΧ.ΜΑΖ.UX (%)	ΤΡΕΧ.ΜΑΖ.UY (%)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΑΖΑ UX (kg)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΑΖΑ UY (kg)
12/ 1	1,09	0,92	21,10	0,02	21,10	0,02	1118976,54	1118976,54
12/ 2	1,15	0,87	21,10	85,76	0,01	85,74	1118976,54	1118976,54
12/ 3	1,22	0,82	85,93	85,76	64,82	0,00	1118976,54	1118976,54
12/ 4	3,22	0,31	85,93	85,76	0,00	0,00	1118976,54	1118976,54
12/ 5	3,24	0,31	86,82	85,78	0,90	0,02	1118976,54	1118976,54
12/ 6	3,34	0,30	86,82	96,99	0,00	11,21	1118976,54	1118976,54
12/ 7	3,92	0,25	96,87	96,99	10,05	0,00	1118976,54	1118976,54

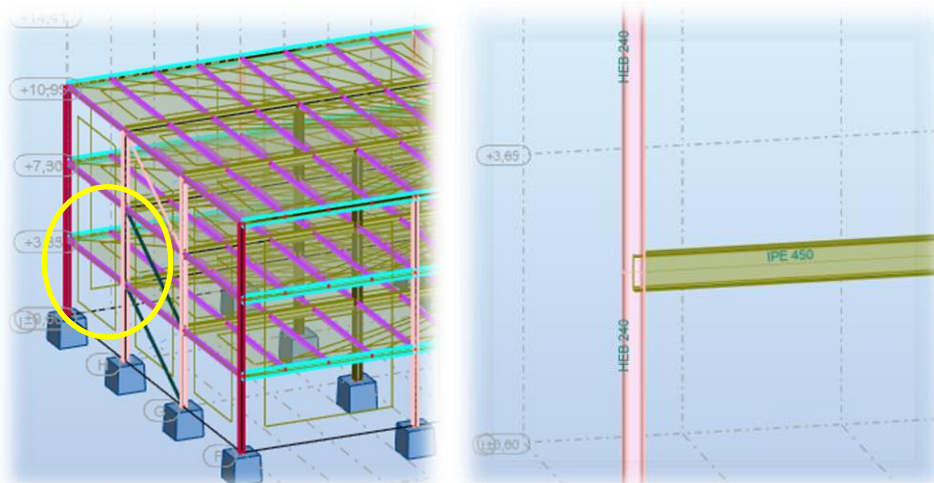
Σχήμα 5.1: Ιδιοπερίοδοι και αθροιστικά ποσοστά ταλαντευόμενης μάζας για κάθε ιδιομορφή

Στα πλαίσια όμως του αντισεισμικού σχεδιασμού, ο οποίος βασίζεται στον Ευρωκώδικα 8, πρέπει να ικανοποιούνται ορισμένες επιπλέον προϋποθέσεις ώστε να αποφεύγεται η ολική/μερική κατάρρευση για σεισμό μεγαλύτερο από το σεισμό σχεδιασμού:

- ικανότητα διατομών να σχηματίσουν πλαστική άρθρωση και στρωφική ικανότητα (Για ΚΠΜ και $q=4$ οι διατομές του φορέα πρέπει να είναι κατηγορίας 1 ή 2)
- αποφυγή ψαθυρών μορφών αστοχίας
- αποφυγή σχηματισμού μαλακού ορόφου, άρα πλαστική άρθρωση πρώτα στα άκρα των δοκών και όχι των υποστυλωμάτων.

Η τελευταία προϋπόθεση επιτυγχάνεται μέσω του Ικανοτικού Ελέγχου Κόμβων, σύμφωνα με τον οποίο η πλαστική ροπή αντοχής των υποστυλωμάτων που συντρέχουν σε ένα κόμβο πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την πλαστική ροπή αντοχής των δοκών του κόμβου αυτού επί συντελεστή 1,3 (υπέρ ασφαλείας). Στη συγκεκριμένη εργασία ο έλεγχος αυτός έγινε στην αρχή για συντηρητικούς λόγους και προέκυψε ότι με τις διατομές της στατικής διαστασιολόγησης ικανοποιείται παντού, εκτός από τα Ακραία εξωτερικά Υποστυλώματα Πλαισίων κατά Y

(διατομής HEB 240). Υπέρ ασφαλείας λοιπόν τα υποστυλώματα αυτά άλλαξαν διατομή και τέθηκαν HEB 260. Αναλυτικά ο Ικανοτικός έλεγχος κόμβων παρουσιάζεται σε επόμενη παράγραφο, όμως ενδεικτικά καταγράφεται εδώ ο έλεγχος που αφορά το συγκεκριμένο υποστύλωμα.



Σχήμα 5.2: Ακραίος κόμβος πλαισίου ροπής

Για HEB 240: $M_{pl,Rdy} = 373.9 \text{ kNm}$

Για IPE 450: $M_{pl,Rdy} = 604.2 \text{ kNm}$

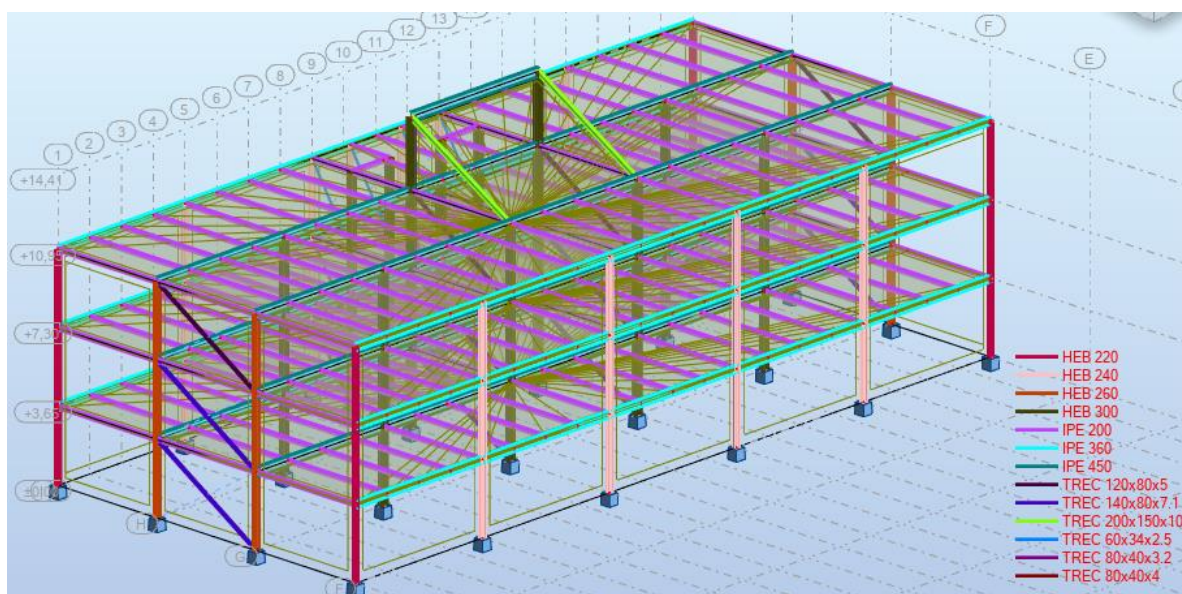
$\Sigma M_{Rc} = 2 * 373.9 = 747.8 \text{ kNm} \leq 1.3 * \Sigma M_{Rb} = 785.4 \text{ kNm}$, άρα δεν ικανοποιείται ο έλεγχος.

Όμως, για HEB 260: $M_{pl,Rdy} = 455.5 \text{ kNm}$,

και άρα $\Sigma M_{Rc} = 911 \text{ kNm} \geq 1.3 * \Sigma M_{Rb} = 785.4 \text{ kNm}$ ✓οκ

Επιπλέον, δεν ικανοποιείται η απαίτηση της Κατηγορίας Διατομών καθώς όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.29, ορισμένες διατομές προέκυψαν κατηγορίας διατομής 3. Για το λόγο αυτό αποφασίστηκαν ορισμένες αλλαγές και ύστερα από επαναλήψεις μέσω του προγράμματος, προέκυψαν νέες διατομές ώστε να ικανοποιούνται όλοι οι ικανοτικοί έλεγχοι. Βέβαια λόγω της αλλαγής του φορέα, αλλάζουν και τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι τελικές διατομές όπως προέκυψαν μετά την ικανοποίηση όλων των ικανοτικών ελέγχων, όπως επίσης τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης σύμφωνα με την οποία προκύπτουν οι νέες διατομές. Όπως παρατηρείται και στο Σχήμα 5.4 δεσπόζουσα ιδιομορφή κατά X είναι τώρα η 1^η, δεσπόζουσα κατά Y η 2^η και απαιτούνται συνολικά 11 ιδιομορφές ώστε η συνολικά ταλαντευόμενη μάζα να φτάσει το 90% και στις 2 διευθύνσεις σεισμού.



Σχήμα 5.3 Τελικές Διατομές Κτιρίου

Τελικές Διατομές

- ✓ Κύριες Ακράιες Δοκοί: **IPE 360**
- ✓ Κύριες Μεσαίες Δοκοί: **IPE 450**
- ✓ Γωνιακά Υποστυλώματα: **HEB 220**
- ✓ Ακραία Υποστυλώματα Ακράιων Πλαισίων Ροπής: **HEB 240**
- ✓ Ακραία Υποστυλώματα Μεσαίων Πλαισίων Ροπής: **HEB 260**
- ✓ Κεντρικά Υποστυλώματα: **HEB 300**
- ✓ Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας ισογείου & 1^{ου} ορόφου (l=7.02m): **RHS 140x80x7.1**
- ✓ Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας 2^{ου} ορόφου (l=7.02m): **RHS 120x80x5**
- ✓ Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας Κεκλιμένης Οροφής (l=7.02m): **RHS 200x150x10**
- ✓ Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας του ασανσέρ ισογείου (l=4.37m): **RHS 80x40x4**
- ✓ Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας του ασανσέρ 1^{ου} (l=4.37m): **RHS 80x40x3.2**
- ✓ Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας του ασανσέρ 2^{ου} (l=4.37m): **RHS 60x34x2.5**

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ/ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (Hz)	ΠΕΡΙΟΔΟΣ (sec)	ΣΧΕΤ.ΜΑΖΑ.Υ Χ (%)	ΣΧΕΤ.ΜΑΖΑ.Υ Υ (%)	ΤΡΕΧ.ΜΑΖ.ΥΧ (%)	ΤΡΕΧ.ΜΑΖ.ΥΥ (%)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΑΖΑ ΥΧ (kg)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΑΖΑ ΥΥ (kg)
10/ 1	1,21	0,82	85,37	0,00	85,37	0,00	1121407,60	1121407,60
10/ 2	1,81	0,55	85,37	84,98	0,00	84,98	1121407,60	1121407,60
10/ 3	1,85	0,54	85,82	84,98	0,45	0,00	1121407,60	1121407,60
10/ 4	3,22	0,31	85,82	84,98	0,00	0,00	1121407,60	1121407,60
10/ 5	3,95	0,25	96,62	84,98	10,81	0,00	1121407,60	1121407,60
10/ 6	4,61	0,22	96,62	84,98	0,00	0,00	1121407,60	1121407,60
10/ 7	4,90	0,20	96,63	84,98	0,01	0,00	1121407,60	1121407,60
10/ 8	4,95	0,20	96,63	86,35	0,00	1,37	1121407,60	1121407,60
10/ 9	4,95	0,20	96,63	86,50	0,00	0,15	1121407,60	1121407,60
10/ 10	4,95	0,20	96,63	86,50	0,00	0,00	1121407,60	1121407,60
10/ 11	4,98	0,20	96,63	97,04	0,00	10,54	1121407,60	1121407,60

Σχήμα 5.4: Ιδιομορφές νέου φορέα

5.2 Έλεγχος Πλαισίων με Κεντρικούς Συνδέσμους Δυσκαμψίας (Σεισμός κατά Υ)

5.2.1 Περιορισμός φαινομένων 2ης τάξης

Για πολυώροφα πλαίσια, οι επιρροές 2ας τάξης λόγω πλευρικής μετάθεσης υπολογίζονται αυξάνοντας τα οριζόντια φορτία H_{Ed} (π.χ. άνεμο) και τα ισοδύναμα φορτία φV_{Ed} λόγω ατελειών, μέσω του συντελεστή $\alpha cr = \frac{1}{1-\theta}$, υπό την προϋπόθεση ότι $\alpha cr \geq 3$.

Για κάθε όροφο υπολογίζεται ο συντελεστής θ μέσω του οποίου καθορίζεται αν τα φαινόμενα 2ης τάξης πρέπει να ληφθούν υπόψη (τα ισοδύναμα φορτία φV_{Ed} λόγω ατελειών απλοποιούνται).

- ✓ Εάν $\theta \leq 0,1$ τα αποτελέσματα δευτέρας τάξεως μπορούν να αμεληθούν
- ✓ Εάν $0,1 < \theta \leq 0,2$, τα αποτελέσματα δευτέρας τάξεως μπορούν να ληφθούν υπόψη προσεγγιστικά πολλαπλασιάζοντας τα αντίστοιχα σεισμικά εντατικά μεγέθη και μετακινήσεις με συντελεστή ίσο με αcr
- ✓ Εάν $0,2 < \theta < 0,3$ θα πρέπει να γίνει ανάλυση 2ας τάξης

$$\text{Ισχύει ότι: } \theta = \frac{P_{tot} \cdot dr}{V_{tot} \cdot h} < 0,3 \quad (5.1)$$

όπου:

θ : συντελεστής ευαισθησίας σχετικής μετακίνησης ορόφου

P_{tot} : συνολικό κατακόρυφο φορτίο στη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού (συνδυασμός $G+0.3Q$)

V_{tot} : συνολική σεισμική τέμνουσα ορόφου

dr : σχετική μετακίνηση ορόφου

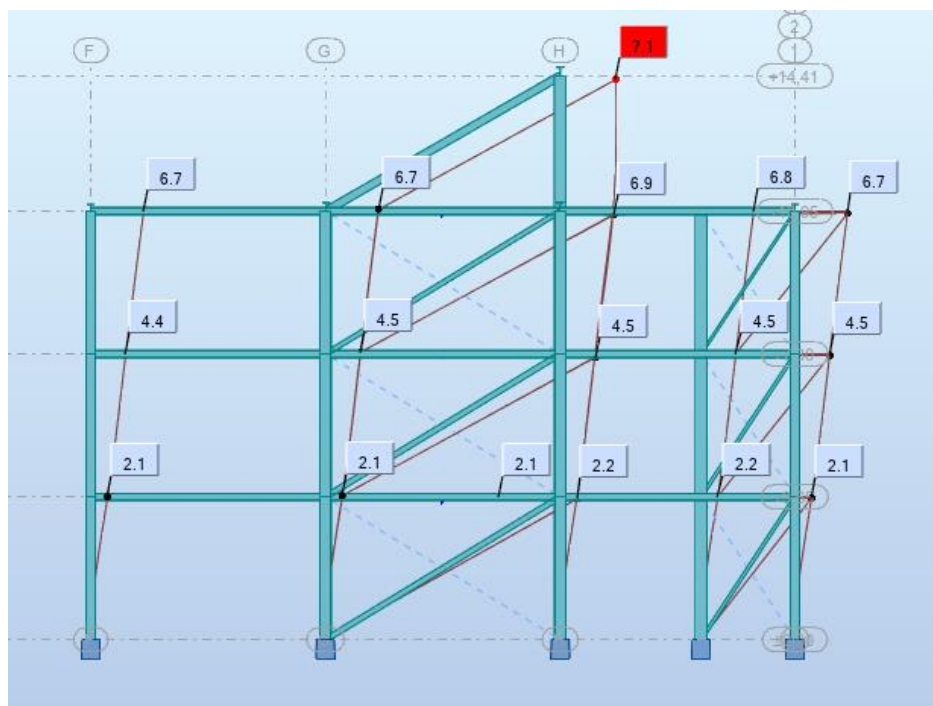
h : ύψος ορόφου

(Πηγή: EN 1993-1-1:2005)

Η συνολική τέμνουσα ανά όροφο δίνεται μέσω του Robot Structural Analysis για την δυσμενέστερη σεισμική φόρτιση κατά Υ καθώς και η σχετική μετακίνηση ανά όροφο. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης καθώς και οι υπολογισμοί για τον συντελεστή θ παρουσιάζονται παρακάτω.

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΟΡΟΦΟΥ	G (x,y,z) (m)	FX (kN)	FY (kN)	MZ (kNm)	FX ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	FX ΤΟΙΧΕΙΟ (kN)	FY ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	FY ΤΟΙΧΕΙΟ (kN)
12/ 1	20,00 39,05 3,5	-0,04	1663,88	-2,89	-0,11	0,07	1664,03	-0,16
12/ 2	20,00 39,05 7,2	0,02	1405,49	-0,51	0,13	-0,11	1405,24	0,25
12/ 3	20,00 39,04 10,	-0,03	923,09	-2,86	-0,09	0,06	923,17	-0,08
12/ 4	20,00 41,03 13,	-0,00	3,24	-0,00	-0,00	0,00	3,24	0,00

Σχήμα 5.5: Σεισμικές τέμνουσες ανά όροφο στη διεύθυνση Υ



Σχήμα 5.6: Συνολικές μετακινήσεις υπό την δυσμενέστερη σεισμική δράση κατά Y

Πίνακας 5.1: Υπολογισμός συντελεστή θ κατά τη διεύθυνση Y

Όροφος	Ισόγειο	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}
Συνολικό φορτίο βαρύτητας P_{tot} [kN]	11050,33	7583,50	4117,71	18,23
Συνολική τέμνουσα V_{tot} [kN]	1663,88	1405,5	923,1	3,24
Σχετική μετακίνηση dr [cm]	2,1	2,3	2,3	0,4
Ύψος h [cm]	365	365	365	346
Συντελεστής ευαισθησίας θ	0,04	0,034	0,03	0,005

Όπως παρατηρείται ο συντελεστής $\theta < 0,1$ σε κάθε όροφο, οπότε τα φαινόμενα 2^{ης} τάξης μπορούν να αγνοηθούν και δεν απαιτείται προσαύξηση των σεισμικών συνδυασμών. Τελικά οι διατομές όλων των στοιχείων του κτιρίου ελέγχονται με τους αρχικούς σεισμικούς συνδυασμούς και προέκυψε ότι επαρκούσαν έναντι αυτών. Πολύ συνοπτικά παρουσιάζεται η επάρκεια των δυσμενέστερων διατομών καθώς και το ποσοστό αξιοποίησης όπως διατομής του καθενός.

ΜΕΛΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΥΛΙΚΟ	Lay	Laz	ΛΟΓΟΣ	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ
1 ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ-1	HEB 220	S355	53.52	65.31	0.21	42 COMB16:DL+ADL+0.3*Q+Ey-0.3*Ex
3 ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ-3	HEB 240	S355	41.43	60.00	0.25	42 COMB16:DL+ADL+0.3*Q+Ey-0.3*Ex
7 ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ-7	HEB 260	S355	44.09	55.44	0.42	42 COMB16:DL+ADL+0.3*Q+Ey-0.3*Ex
10 ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ_10	HEB 300	S355	37.05	48.16	0.34	42 COMB16:DL+ADL+0.3*Q+Ey-0.3*Ex
84 ΑΠΛΗ ΡΑΒΔΟΣ_84	TREC 140x80x7.1	S355	70.45	99.49	0.37	27 COMB14: DL+ADL+ 0.3*Q+Ey+0.3*Ex
755 ΔΟΚΟΣ-755	IPE 360	S355	53.49	211.21	0.48	42 COMB16:DL+ADL+0.3*Q+Ey-0.3*Ex
764 ΔΟΚΟΣ-764	IPE 450	S355	43.29	194.27	0.54	42 COMB16:DL+ADL+0.3*Q+Ey-0.3*Ex
794 ΑΠΛΗ ΡΑΒΔΟΣ_794	TREC 120x80x5	S355	79.29	109.26	0.36	27 COMB14: DL+ADL+ 0.3*Q+Ey+0.3*Ex
863 ΑΠΛΗ ΡΑΒΔΟΣ-863	TREC 200x150x10	S355	94.45	118.12	0.00	42 COMB16:DL+ADL+0.3*Q+Ey-0.3*Ex
981 ΑΠΛΗ ΡΑΒΔΟΣ_981	TREC 80x40x3.2	S355	77.01	134.19	0.37	42 COMB16:DL+ADL+0.3*Q+Ey-0.3*Ex
992 ΑΠΛΗ ΡΑΒΔΟΣ_992	TREC 60x34x2.5	S355	103.00	157.32	0.35	27 COMB14: DL+ADL+ 0.3*Q+Ey+0.3*Ex
996 ΑΠΛΗ ΡΑΒΔΟΣ_996	TREC 80x40x4	S355	78.04	137.09	0.37	27 COMB14: DL+ADL+ 0.3*Q+Ey+0.3*Ex

Σχήμα 5.7: Συνοπτικοί έλεγχοι για σεισμό κατά Y

Τα διαγώνια μέλη που ανήκουν στο κεκλιμένο τμήμα της οροφής παραλαμβάνουν πολύ μικρή ένταση κατά το σεισμό οπότε δε θα ληφθούν υπόψη στους ικανοτικούς ελέγχους.

5.2.2 Έλεγχος διαγωνίων συνδέσμων δυσκαμψίας

- Σε πλαίσια με X διαγώνιους συνδέσμους, η αδιάστατη λυγηρότητα λ , όπως ορίζεται στο EN 1993-1-1:2004 θα πρέπει να περιορίζεται σε:

$$1,3 < \lambda \leq 2,0$$

$$\text{Όπου: } \lambda = \frac{L_{cr}}{\lambda_{1*iz}} \quad (5.2)$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,41.$$

- Η αντοχή διαρροής N_{pl}, R_d της συνολικής διατομής των διαγωνίων θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε:

$$N_{pl}, R_d \geq N_{Ed}$$

$$\text{Όπου: } N_{pl} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} \quad (5.3)$$

- Προκειμένου να ικανοποιείται μια ομοιογενής πλάστιμη συμπεριφορά των διαγωνίων, θα πρέπει να ελέγχεται ότι η μέγιστη υπεραντοχή Ω_i , όπως ορίζεται παρακάτω, δεν διαφέρει από την ελάχιστη τιμή Ω κατά περισσότερο από 25%. Δηλαδή:

$$\frac{\Omega_{max} - \Omega_{min}}{\Omega_{min}} \leq 0,25$$

Πραγματοποιούνται, λοιπόν, όλοι οι παραπάνω έλεγχοι και προκύπτει ότι επαρκούν τα διαγώνια μέλη. Υπενθυμίζεται ότι οι διαγώνιοι σύνδεσμοι λόγω της σύνδεσης στο μέσο τους έχουν μήκος λυγισμού ίσο με το 50% του πραγματικού τους μήκους. Τα αποτελέσματα των ελέγχων για τα δυσμενέστερα μέλη δίνονται στον παρακάτω Πίνακα 5.2.

Τελικά προκύπτει: $\frac{\Omega_{max} - \Omega_{min}}{\Omega_{min}} = 0.042 \leq 0,25$ ✓, οπότε ικανοποιείται ο έλεγχος.

Πίνακας 5.2: Ικανοτικοί έλεγχοι διαγώνιων συνδέσμων δυσκαμψίας

Στοιχείο	Διατομή	l (cm)	L _{cr} (cm)	iz (cm)	λ	$\frac{N_{pl,Rd}}{N_{Ed}} \geq 1$	Ω _i
84 : Διαγώνιος ισογείου	RHS 140x80x7.1	702	351	3.5	1.31 OK	2,69 OK	2,69
720: Διαγώνιος 1 ^{ου} ορόφου	RHS 140x80x7.1	702	351	3,5	1.31 OK	2,64 OK	2,64
794: Διαγώνιος 2 ^{ου} ορόφου	RHS 120x80x5	702	351	3.2	1.43 OK	2,67 OK	2,67
996: Διαγώνιος ασανσέρ ισογείου	RHS 80x40x4	437	218.5	1.6	1.78 OK	2,61 OK	$\frac{\Omega_{min}=2,6}{1}$
981: Διαγώνιος ασανσέρ 1 ^{ου}	RHS 80x40x3.2	437	218.5	1.6	1.78 OK	2,62 OK	2,62
992: Διαγώνιος ασανσέρ 2 ^{ου}	RHS 60x34x2.5	437	218.5	1.4	2 OK	2,72 OK	$\frac{\Omega_{max}=2,7}{2}$

5.2.3 Ικανοτικός έλεγχος υποστυλωμάτων

Στα υποστυλώματα του Κτιρίου Γραφείων πραγματοποιείται ικανοτική προσαύξηση της αξονικής έντασης προκειμένου να εξασφαλισθεί η πλάσιμη συμπεριφορά των μελών. Η αξονική αυτή δύναμη σχεδιασμού στον άξονα x είναι ίση με:

$$N_{Ed} = N_{Ed, +1, 1\gamma_{ov} \cdot \Omega_{min} \cdot N_{Ed, EX} + 0, 3 \cdot N_{Ed, EY} \quad (5.3)$$

όπου:

$N_{Ed, +}$: αξονική δύναμη λόγω κατακόρυφων φορτίων ($G+0, 3 \cdot Q$)

$N_{Ed, EX}$: αξονική δύναμη λόγω σεισμικών φορτίων κατά x

$N_{Ed, EY}$: αξονική δύναμη λόγω σεισμικών φορτίων κατά y

γ_{ov} : συντελεστής υπεραντοχής ($\gamma_{ov}=1, 25$)

Ω_{min} : ελάχιστη τιμή υπεραντοχής (στην προκειμένη περίπτωση $\Omega_{min}=2, 61$)

Σύμφωνα με τα παραπάνω πραγματοποιείται προσαύξηση των σεισμικών συνδυασμών στη διεύθυνση Y κατά την ποσότητα $A=1,1 \cdot \gamma \cdot \Omega_{min}=3,6$, οπότε μετά την προσαύξηση θα ισχύει:

$$\text{COMB: (DL+ADL)+0.3*Q+2.63*Ey+0.3*Ex} \quad (5.4)$$

Ο συνδυασμός της σχέσης (5.4) δημιουργήθηκε στο πρόγραμμα προσομοίωσης Robot Structural Analysis με τον οποίο ελέγχθηκαν όλα τα υποστυλώματα του υπό μελέτη κτιρίου Υπενθυμίζεται ότι, οι δοκοί δεν υπόκεινται σε ικανοτικό έλεγχο, καθώς λόγω της διαφραγματικής λειτουργίας της κατασκευής δεν επιβαρύνονται από τους σεισμικούς συνδυασμούς. Στη συνέχεια παρατίθεται ο πίνακας με τα αποτελέσματα των ελέγχων για τα υποστυλώματα (Σχήμα 5.9) ,όπως επίσης και ο αναλυτικός έλεγχος για το δυσμενέστερο υποστυλώμα του ισογείου (Υπ/μα_9: HEB 300) του οποίου ο έλεγχος παρουσιάζεται παρακάτω στο Σχήμα 5.10.

ΜΕΛΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΥΛΙΚΟ	Lay	Laz	ΛΟΓΟΣ	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ
ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 9 ΓΩΝΙΑΚΑ ΥΠ/ΤΑ ΙΣΟΓΕΙΟΥ						
24 Υποστούλωμα_24	HEB 220	S355	53.52	65.31	0.32	44 COMB30: DL+ADL+0.3*Q+3.6*Ey+0.3*Ex
ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 10 ΑΚΡΑΙΑ ΥΠ/ΤΑ ΙΣΟΓΕΙΟΥ						
12 Υποστούλωμα_12	HEB 260	S355	44.09	55.44	0.96	44 COMB30: DL+ADL+0.3*Q+3.6*Ey+0.3*Ex
ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 11 ΜΕΣΑΙ ΥΠ/ΤΑ ΙΣΟΓΕΙΟΥ						
9 Υποστούλωμα_9	HEB 300	S355	37.05	48.16	0.80	44 COMB30: DL+ADL+0.3*Q+3.6*Ey+0.3*Ex
ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 12 ΓΩΝΙΑΚΑ ΥΠ/ΤΑ ΟΡΟΦΩΝ						
746 Υποστούλωμα_746	HEB 220	S355	65.66	65.31	0.24	44 COMB30: DL+ADL+0.3*Q+3.6*Ey+0.3*Ex
ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 13 ΑΚΡΑΙΑ ΥΠ/ΤΑ ΟΡΟΦΩΝ						
660 Υποστούλωμα_660	HEB 260	S355	59.31	55.44	0.60	44 COMB30: DL+ADL+0.3*Q+3.6*Ey+0.3*Ex
ΓΚΡΟΥΠ ΕΛΕΓΧΟΥ : 14 ΜΕΣΑΙΑ ΥΠ/ΤΑ ΟΡΟΦΩΝ+ΟΡΟΦΗΣ						
9 Υποστούλωμα_9	HEB 300	S355	37.05	48.16	0.80	44 COMB30: DL+ADL+0.3*Q+3.6*Ey+0.3*Ex

Σχήμα 5.9: Φύλλο αποτελεσμάτων ελέγχου υποστυλωμάτων

ΜΕΛΟΣ: 9 Υποστούλωμα_9

ΣΗΜΕΙΟ: 1

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ: $x = 0.00 L = 0.00 m$

ΦΟΡΤΙΑ:

ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ: 44 COMB30: DL+ADL+0.3*Q+3.6*Ey+0.3*Ex (1+2)*1.00+(3+11)*0.30+12*3.60

ΥΛΙΚΟ:

S355 (S355) $f_y = 355.00 MPa$



ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΔΙΑΤΟΜΗΣ: HEB 300

h=30.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=30.0 cm	Ay=126.20 cm ²	Az=47.43 cm ²	Ax=149.08 cm ²
tw=1.1 cm	Iy=25165.70 cm ⁴	Iz=8562.83 cm ⁴	Ix=186.00 cm ⁴
tf=1.9 cm	Wply=1868.80 cm ³	Wplz=870.16 cm ³	

ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΟΧΕΣ:

N _{Ed} = 2333.79 kN	My _{Ed} = -54.58 kN*m	Mz _{Ed} = -91.15 kN*m	Vy _{Ed} = -31.44 kN
N _{c,Rd} = 5292.27 kN	My _{Ed,max} = -54.58 kN*m	Mz _{Ed,max} = -91.15 kN*m	Vy _{T,Rd} = 2586.51 kN
N _{b,Rd} = 4060.67 kN	My _{c,Rd} = 663.42 kN*m	Mz _{c,Rd} = 308.91 kN*m	Vz _{Ed} = 28.65 kN
	MN _{y,Rd} = 420.32 kN*m	MN _{z,Rd} = 286.56 kN*m	Vz _{T,Rd} = 972.07 kN
	Mb _{Rd} = 644.79 kN*m		Tt _{Ed} = 0.00 kN*m
			ΤΑΞΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ = 1



ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΛΕΥΡΙΚΟΥ ΛΥΓΙΣΜΟΥ:

z = 0.00	Mcr = 6334.59 kN*m	ΚΑΜΠΥΛΗ,LT - a	XLT = 0.97
L _{cr,low} = 3.65 m	Lam _{LT} = 0.32	fi _{LT} = 0.57	

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΥΓΙΣΜΟΥ:



ΠΕΡΙ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ y:

Ly = 3.65 m	Lam _y = 0.48
L _{cr,y} = 4.81 m	Xy = 0.89
Lamy = 37.05	kzy = 0.38



ΠΕΡΙ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ z:

Lz = 3.65 m	Lam _z = 0.63
L _{cr,z} = 3.65 m	Xz = 0.77
Lamz = 48.16	kzz = 0.92

ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ:

ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΗΚΟΥΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ :

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.44 < 1.00$ (6.2.4.(1))
 $(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^2 + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^2 = 0.10 < 1.00$ (6.2.9.1.(6))
 $V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.01 < 1.00$ (6.2.6-7)
 $V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.03 < 1.00$ (6.2.6-7)

$\tau_{xy,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.00 < 1.00$ (6.2.6)

$\tau_{xz,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.00 < 1.00$ (6.2.6)

ΟΛΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΜΕΛΟΥΣ:

$\lambda_{bda,y} = 37.05 < \lambda_{bda,max} = 210.00$ $\lambda_{bda,z} = 48.16 < \lambda_{bda,max} = 210.00$ ΣΤΑΘΕΡΟ

$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.08 < 1.00$ (6.3.2.1.(1))

$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.73 < 1.00$ (6.3.3.(4))

$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.88 < 1.00$ (6.3.3.(4))

ΔΙΑΤΟΜΗ OK !!!

Σχήμα 5.10: Έλεγχος δυσμενέστερου υποστυλώματος (Υπ/μα_9) έναντι Ικανοτικού συνδυασμού στη διεύθυνση Y

5.2.4 Περιορισμός Βλαβών

Η απαίτηση για τον περιορισμό των βλαβών εξασφαλίζεται με τον περιορισμό της σχετικής μετακίνησης των ορόφων για σεισμό μικρότερο του σεισμού σχεδιασμού, όμως με σημαντικά μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης. Η απαίτηση για τον περιορισμό των βλαβών ικανοποιείται εφόσον για κάθε όροφο της κατασκευής ικανοποιείται η σχέση:

$$dr \cdot v \leq 0,0075 \cdot h \quad (5.5)$$

Για κτίρια κατηγορίας II ($\gamma I=1,0$) με πλαστικά μη φέροντα στοιχεία, οι μετακινήσεις λόγω του σεισμού αυτού λαμβάνονται ως το 50% των τιμών του σεισμού σχεδιασμού ($v=0,50$). Με βάση τις τιμές των σχετικών μετακινήσεων και του ύψους των ορόφων του Πίνακα 5.1 προκύπτει:

- Ισόγειο: $dr \cdot v = 1,05 \text{ cm} \leq 0,0075 \cdot h = 2,74 \text{ cm}$
- 1ος όροφος: $dr \cdot v = 1,15 \text{ cm} \leq 0,0075 \cdot h = 2,74 \text{ cm}$
- 2ος όροφος: $dr \cdot v = 1,15 \text{ cm} \leq 0,0075 \cdot h = 2,74 \text{ cm}$
- οροφή: $dr \cdot v = 0,2 \text{ cm} \leq 0,0075 \cdot h = 2,6 \text{ cm}$

Επομένως οι έλεγχοι για τον περιορισμό των βλαβών ικανοποιούνται κατά Υ, σε όλους τους ορόφους του κτιρίου.

5.3 Έλεγχος Πλαισίων Ροπής (Σεισμός κατά Χ)

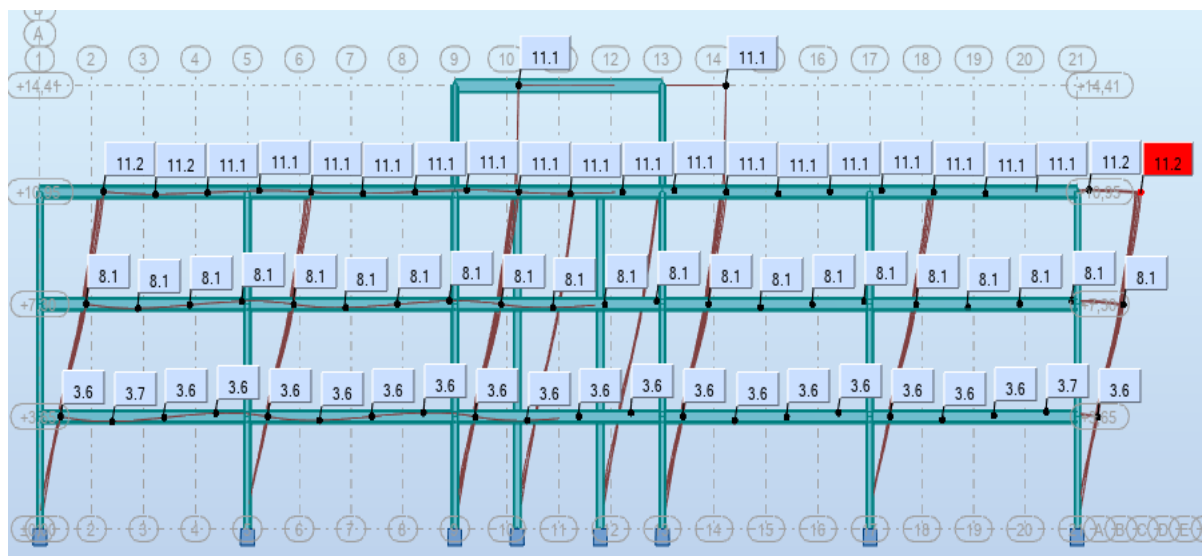
5.3.1 Περιορισμός φαινομένων 2ης τάξης

Στα πλαίσια ροπής αναπτύσσονται αξονικές, τέμνουσες δυνάμεις και ροπές κάμψης τόσο από τα κατακόρυφα όσο και από τα σεισμικά φορτία.

Αντίστοιχα με προηγουμένως, προκύπτουν η συνολική σεισμική τέμνουσα ανά όροφο καθώς και η τιμή σχεδιασμού της σχετικής μετακίνησης του κάθε ορόφου (Σχήματα 5.11 & 5.12). Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης καθώς και οι υπολογισμοί για τον συντελεστή ευαισθησίας θ παρουσιάζονται παρακάτω και στον Πίνακα 5.3, όπου χρησιμοποιήθηκε εκ νέου η σχέση υπολογισμού (5.1). Τα ισοδύναμα φορτία ϕV_{Ed} λόγω ατελειών απλοποιητικά αγνοούνται και σε αυτή την περίπτωση,

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ/ ΟΡΟΦΟΣ	G (x,y,z) (m)	FX (kN)	FY (kN)	MZ (kNm)	FX ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	FX ΤΟΙΧΕΙΟ (kN)	FY ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	FY ΤΟΙΧΕΙΟ (kN)
11/ 1	20,00 39,05 3,5	1222,61	0,04	2061,59	1222,61	0,00	0,05	-0,01
11/ 2	20,00 39,05 7,2	1032,44	-0,03	1705,45	1032,44	0,01	-0,07	0,04
11/ 3	20,00 39,04 10,	668,91	0,04	1185,02	668,92	-0,01	0,05	-0,01
11/ 4	20,00 41,03 13,	2,46	0,00	-2,20	2,46	-0,00	0,00	-0,00

Σχήμα 5.11: Σεισμικές τέμνουσες ανά όροφο στη διεύθυνση Χ









Σχήμα 5.12: Συνολικές μετακινήσεις υπό την δυσμενέστερη σεισμική δράση κατά Χ

Πίνακας 5.3: Υπολογισμός συντελεστή θ κατά τη διεύθυνση X

Όροφος	Ισόγειο	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}
Συνολικό φορτίο βαρύτητας P_{tot} [kN]	11050,33	7583,50	4117,71	18,23
Συνολική τέμνουσα V_{tot} [kN]	1222,61	1032,44	668,91	2,46
Σχετική μετακίνηση dr [cm]	3,4	4,3	2,9	0,5
Ύψος h [cm]	365	365	365	346
Συντελεστής ευσαισθησίας θ	0,08	0,086	0,05	0,008

Όπως παρατηρείται και σε αυτή την περίπτωση ο συντελεστής $\theta < 0,1$ σε κάθε όροφο, οπότε τα φαινόμενα 2ης τάξης μπορούν να αγνοηθούν και δεν απαιτείται προσάυξηση των σεισμικών συνδυασμών. Τελικά οι διατομές όλων των στοιχείων του κτιρίου ελέγχονται με τους αρχικούς σεισμικούς συνδυασμούς της διεύθυνσης X και προέκυψε ότι επαρκούσαν έναντι αυτών. Πολύ συνοπτικά παρουσιάζεται η επάρκεια των δυσμενέστερων διατομών των πλαισίων ροπής κατά X στο παρακάτω Σχήμα 5.13.

ΜΕΛΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΥΛΙΚΟ	Lay	Laz	ΛΟΓΟΣ	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ
2 ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ-2	 HEB 240	S355	46.15	60.00	0.29	26 COMB13: DL+ADL+0.3*Q+Ex+0.3*Ey
8 ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ_8	 HEB 300	S355	37.05	48.16	0.37	26 COMB13: DL+ADL+0.3*Q+Ex+0.3*Ey
12 ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ_12	 HEB 260	S355	44.09	55.44	0.41	26 COMB13: DL+ADL+0.3*Q+Ex+0.3*Ey
21 ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ_21	 HEB 240	S355	46.15	60.00	0.31	26 COMB13: DL+ADL+0.3*Q+Ex+0.3*Ey
61 ΔΟΚΟΣ-61	 IPE 360	S355	53.49	211.21	0.37	26 COMB13: DL+ADL+0.3*Q+Ex+0.3*Ey
67 ΔΟΚΟΣ_67	 IPE 450	S355	43.29	194.27	0.64	26 COMB13: DL+ADL+0.3*Q+Ex+0.3*Ey

Σχήμα 5.13: Συνοπτικοί έλεγχοι για σεισμό κατά Υ

5.3.2 Ικανοτικός Έλεγχος Δοκών

Όπως προβλέπεται από τον Ευρωκώδικα 8, για τον έλεγχο των κύριων δοκών των πλαισίων ροπής γίνεται η παραδοχή ότι έχει σχηματιστεί πλαστική άρθρωση σε ένα από τα δύο άκρα της. Για να μπορέσει η δοκός, όμως, να αναπτύξει πλαστική ροπή στα άκρα της και άρα στροφική ικανότητα πρέπει να είναι κατηγορίας 1 ή 2. Ύστερα από έλεγχο όλων των κύριων δοκών κατά Χ σε ΟΚΑ από τα στατικά φορτία, οι διατομές τους προέκυψαν Κατηγορίας 1 (όπως προβλέπεται από τον EN1993-1-1/5.5/Πίν. 5,2α), και άρα αυτή η απαίτηση ικανοποιείται. Ενδεικτικά:

IPE 360

Πέλμα : $c_f/t_f = 4.96 < 9\varepsilon = 7.29$, άρα Κατηγορία 1

Κορμός : $c_w/t_w = 37.32 < 72\varepsilon = 58$, άρα Κατηγορία 1

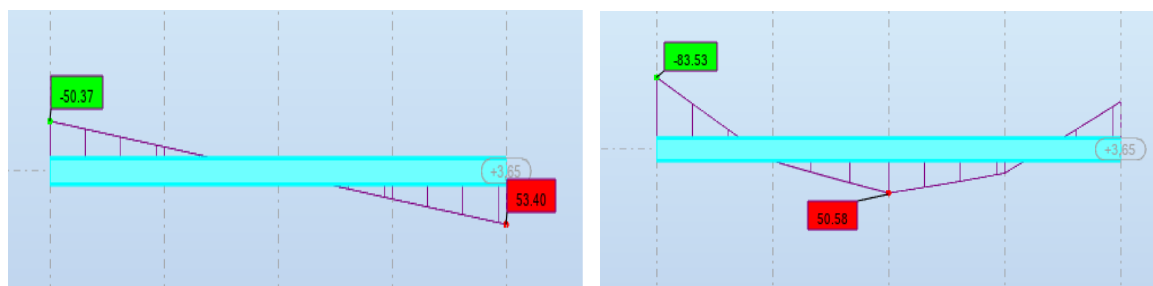
IPE 450

Πέλμα : $c_f/t_f = 4.75 < 9\varepsilon = 7.29$, άρα Κατηγορία 1

Κορμός : $c_w/t_w = 40.30 < 72\varepsilon = 58$, άρα Κατηγορία 1

Ενδεικτικά παρουσιάζεται ο έλεγχος για τη δυσμενέστερη δοκό (Δοκός_61 ,όπως προέκυψε για το σεισμικό συνδυασμό) του ισογείου με μήκους $l=8$ m του εξωτερικού πλαισίου και διατομής IPE 360. Αντίστοιχοι έλεγχοι πραγματοποιούνται για τις υπόλοιπες δοκούς και καταγράφεται η μέγιστη ροπή σχεδιασμού για σεισμικούς συνδυασμούς, ώστε να υπολογιστεί η διαθέσιμη υπεραντοχή.

• **Δοκός 61: IPE 360 ($M_{pl,y} = 361,82$ kNm)**



Σχήμα 5.14: Ροπές M_y (kNm) για σεισμικό E_{ch} συνδυασμό και συνδυασμό $G+0.3*Q$ αντίστοιχα

Για το σχηματισμό πλαστικής άρθρωσης σε ένα από τα 2 άκρα απαιτείται η προσαύξηση των σεισμικών δράσεων κατά 552%:

$$M_{A,Ed} = M_{B,Ed} = M_{pl,Rd} = -83,53 - \underline{5,52} \cdot 50,4 = -361,82 \text{ kNm}$$

Μετά την προσαύξηση των σεισμικών συνδυασμών προκύπτει:

$$\text{COMB: (DL+ADL) +0.3*Q+5.52*E}_x\text{+0.3*E}_y \quad (5.6)$$

Έλεγχος ακραίου τμήματος δοκού:

Η δοκός πρέπει να ελεγχθεί έναντι στρεπτοκαμπτικού λυγισμού, με το νέο σεισμικό συνδυασμό. Το άνω πέλμα εξασφαλίζεται πλευρικά μέσω της σύνδεσής του με το δάπεδο, ενώ στις περιοχές των στηρίξεων, όπου θλίβεται το κάτω πέλμα, προβλέπονται κατάλληλες κατασκευαστικές διατάξεις ώστε να αυξηθεί η αντοχή της δοκού έναντι στρεπτοκαμπτικού

λυγισμού. Για να μπορέσει να αναπτυχθεί η $M_{pl,Rd}$ λαμβάνεται η πρώτη πλευρική εξασφάλιση σε απόσταση 0,50 m από τον κόμβο. Η δοκός στο ακραίο τμήμα έχει τραπεζοειδές διάγραμμα ροπών με λόγο ακραίων ροπών $\psi = 0,75$

- $C_1 = 1,141$, $C_2 = 0$.
- Απλές στρεπτικές στηρίξεις στα άκρα: $k = k_w = 1,0$
- Η κρίσιμη ελαστική ροπή θα είναι:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \cdot \sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} = \quad (5.7)$$

Και τελικά προκύπτει: $M_{cr} = 17219 \text{ kNm}$

- Ανηγγμένη λυγηρότητα: $\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = 0.14 < 0.2$, οπότε δεν απαιτείται απομείωση της αντοχής της δοκού λόγω στρεπτοκαμπτικού λυγισμού και μπορεί να αναπτυχθεί η πλήρης πλαστική ροπή αντοχής της δοκού.

Έλεγχος δευτέρου τμήματος δοκού:

Η δεύτερη πλευρική εξασφάλιση λαμβάνεται σε απόσταση 2,00 m από τον κόμβο, στη θέση της πρώτης διαδοκίδας. Το διάγραμμα ροπών εντός του τμήματος αυτού λαμβάνεται συντηρητικά με λόγο ακραίων ροπών $\psi = 0,50$.

- $C_1 = 1,323$, $C_2 = 0$.
- Απλές στρεπτικές στηρίξεις στα άκρα: $k = k_w = 1,0$
- Η κρίσιμη ελαστική ροπή θα είναι: $M_{cr} = 23150 \text{ kNm}$
- $\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = 0,38 > 0,2$ άρα απαιτείται μείωση της αντοχής της δοκού λόγω στρεπτοκαμπτικού λυγισμού.
 - Για ελατή διατομή με: $h/b = 2,11 > 2$, λαμβάνεται καμπύλη λυγισμού b, με $\alpha_{LT} = 0,34$.
 - Συντελεστής $\Phi_{LT} = 0.5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - 0.2) + \lambda_{LT}^2] = 0,6$
 - Μειωτικός συντελεστής: $X_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = \underline{0,94}$

Έλεγχος έναντι στρεπτοκαμπτικού λυγισμού:

$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 340.11 \text{ kNm} > M_{Ed} = 265 \text{ kNm}$ άρα η δοκός επαρκεί έναντι στρεπτοκαμπτικού λυγισμού.

Έλεγχος δοκού έναντι τέμνουσας:

Ανεξάρτητα από τον έλεγχο έναντι στρεπτοκαμπτικού λυγισμού πρέπει να γίνει και ο έλεγχος έναντι τέμνουσας. Για τον υπολογισμό της ικανοτικής τέμνουσας που αναπτύσσεται στη δοκό γίνεται η παραδοχή ότι έχουν σχηματιστεί πλαστικές αρθρώσεις και στα δύο άκρα της δοκού.

- Τέμνουσα σχεδιασμού λόγω σεισμού: $V_{Ed,M} = (M_{pl,Rd} + M_{pl,Rd})/L = 90,45 \text{ kN}$
- Τέμνουσα σχεδιασμού λόγω μη σεισμικών δράσεων (G+0,3·Q): $V_{Ed,G} = 49,82 \text{ kN}$
- Πλαστική διατμητική αντοχή: $V_{pl,Rd} = 720,16 \text{ kN} \gg V_{Ed,M} + V_{Ed,G}$ ✓

Ο έλεγχος ικανοποιείται, και επειδή η τέμνουσα είναι μικρότερη από το 50% της $V_{pl,Rd}$ δε χρειάζεται να ληφθεί υπόψη αλληλεπίδραση κάμψης και διάτμησης.

Εκτός από τον ικανοτικό σχεδιασμό των δοκών, καταγράφεται η μέγιστη ροπή σχεδιασμού για τους σεισμικούς συνδυασμούς, ώστε να υπολογιστεί η διαθέσιμη υπεραντοχή.

- Δοκοί IPE 360: $M_{Ed,max} = -133,92 \text{ kNm}$
 $M_{pl,Rd} = 361,22 \text{ kNm}$, άρα $\Omega = 361,22 / 133,92 = 2,7$
- Δοκοί IPE 450: $M_{Ed,max} = -259,78 \text{ kNm}$
 $M_{pl,Rd} = 604,18 \text{ kNm}$, άρα $\Omega = 604,18 / 259,78 = 2,32$

Η ελάχιστη υπεραντοχή, η οποία χρησιμοποιείται στον ικανοτικό έλεγχο των υποστυλωμάτων είναι: **$\Omega = 2,32$**

5.3.3 Ικανοτικός έλεγχος κόμβων

Για να εξασφαλιστεί ο σχηματισμός πλαστικών αρθρώσεων στα άκρα των δοκών και όχι στα υποστυλώματα, ώστε να αποφευχθεί ο σχηματισμός «μαλακού ορόφου», πραγματοποιείται Ικανοτικός σχεδιασμός των κόμβων ώστε η πλαστική ροπή αντοχής των υποστυλωμάτων που συντρέχουν σε κάθε κόμβο να είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη αντοχή των δοκών του κόμβου, λαμβανομένης υπόψη και της πιθανής υπεραντοχής. Εξαίρεση αποτελούν η κορυφή και η βάση των υποστυλωμάτων, στις οποίες επιτρέπεται ο σχηματισμός πλαστικής άρθρωσης.

Για τον έλεγχο των κόμβων απαιτείται ο υπολογισμός των πλαστικών ροπών αντοχής των μελών που συντρέχουν στους κόμβους:

HEB 220: $M_{pl,Rd} = 293,62 \text{ kNm}$	HEB 260: $M_{pl,Rd} = 455,5 \text{ kNm}$	HEB 240: $M_{pl,Rd} = 373,89 \text{ kNm}$
IPE 360: $M_{pl,Rd} = 361,82 \text{ kNm}$	HEB 300: $M_{pl,Rd} = 663,42 \text{ kNm}$	IPE 450: $M_{pl,Rd} = 604,18 \text{ kNm}$

Με βάση τα παραπάνω ελέγχονται οι τυπικές μορφές κόμβων του πλαισίου, όπως φαίνονται και στο Σχήμα 5.15:

Γωνιακός κόμβος εξωτερικού πλαισίου (κόμβος Α):

$$\Sigma M_{Rc} = 2 * 293,62 = 587,24 \text{ kNm} \geq 1,3 * \Sigma M_{Rb} = 1,3 * 361,82 = 470,36 \text{ kNm} \quad \checkmark \text{OK}$$

Ενδιάμεσος κόμβος εξωτερικού πλαισίου (κόμβος Β):

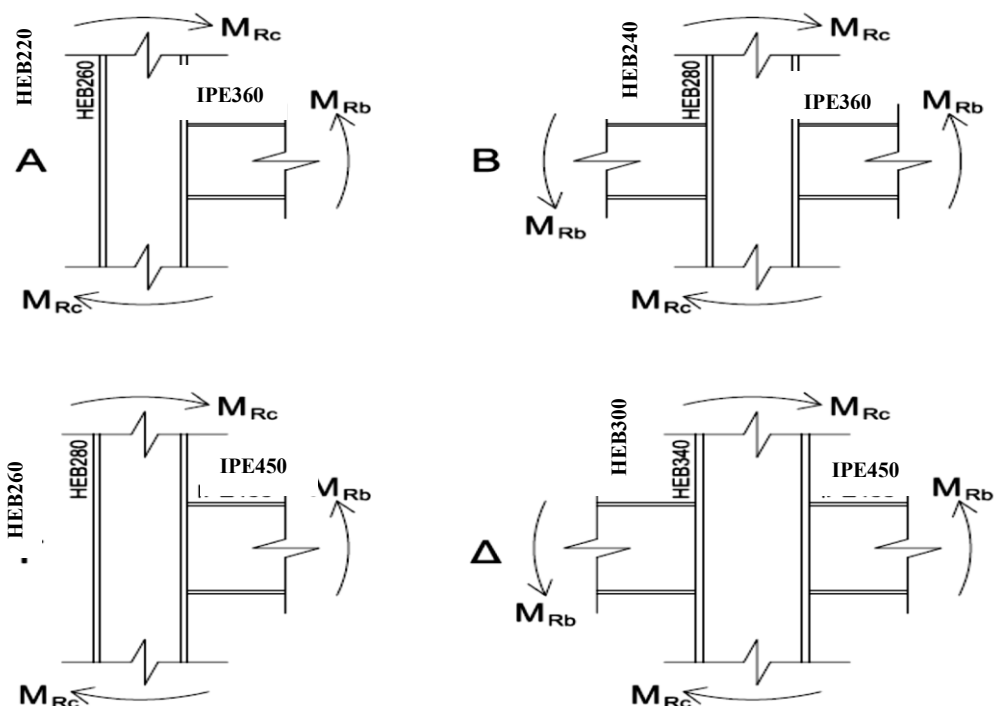
$$\Sigma M_{Rc} = 2 * 373,89 = 747,78 \text{ kNm} \geq 1,3 * \Sigma M_{Rb} = 1,3 * 361,82 = 470,36 \text{ kNm} \quad \checkmark \text{OK}$$

Ακραίος κόμβος εσωτερικού πλαισίου (κόμβος Γ):

$$\Sigma M_{Rc} = 2 * 455,5 = 911 \text{ kNm} \geq 1,3 * \Sigma M_{Rb} = 1,3 * 604,18 = 785,43 \text{ kNm} \quad \checkmark \text{OK}$$

Ενδιάμεσος κόμβος εσωτερικού πλαισίου (κόμβος Δ):

$$\Sigma M_{Rc} = 2 * 663,42 = 1266,8 \text{ kNm} \geq 1,3 * \Sigma M_{Rb} = 1,3 * 604,18 = 785,43 \text{ kNm} \quad \checkmark \text{OK}$$



Σχήμα 5.15: Κόμβοι εξωτερικού και εσωτερικού πλαισίου

5.3.4 Ικανοτικός έλεγχος υποστυλωμάτων

Τα υποστυλώματα ελέγχονται προσαυξάνοντας τα σεισμικά μεγέθη κατά:

$1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega_{min} = 1,1 \cdot 1,25 \cdot 2,32 = \underline{3,12}$. Μετά την προσαύξηση των σεισμικών συνδυασμών προκύπτει ο παρακάτω επαυξημένος σεισμικός συνδυασμός με τον οποίο ελέγχονται τα υποστυλώματα των ορόφων. Αντίστοιχη προσαύξηση πραγματοποιήθηκε για όλες τις πιθανές διευθύνσεις σεισμού :

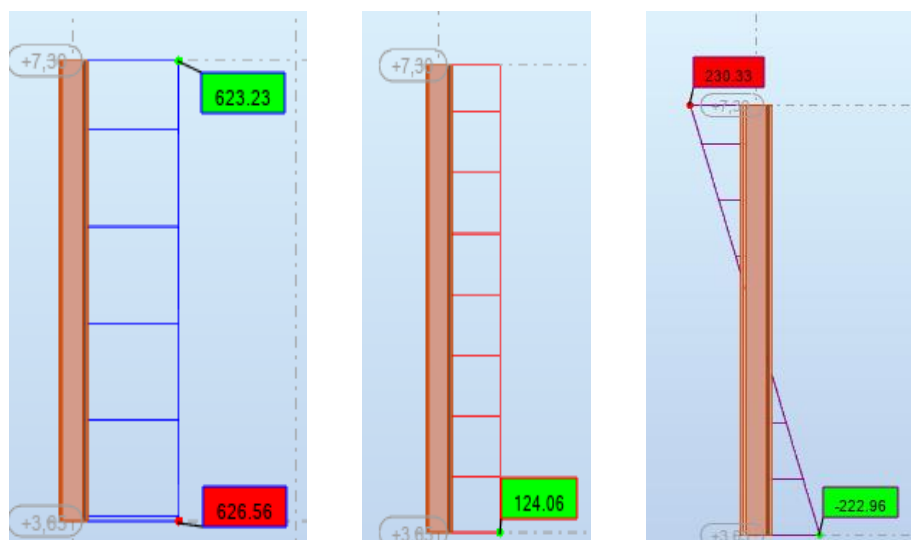
$$\text{COMB: (DL+ADL) + 0.3*Q + } \underline{3,12} * E_x + 0.3 * E_y \quad (5.8)$$

$$\text{COMB: (DL+ADL) + 0.3*Q + } \underline{3,12} * E_x - 0.3 * E_y \quad (5.9)$$

Για τα υποστυλώματα του ισογείου, τα σεισμικά μεγέθη προσαυξάνονται ακόμα περισσότερο όμως, ώστε να σχηματιστεί πλαστική άρθρωση στην βάση τους. Ενδεικτικά παρουσιάζονται παρακάτω οι απαιτούμενες προσαυξήσεις που πρέπει να γίνουν για τις διατομές τους ισογείου με βάση τα δυσμενέστερα εντατικά μεγέθη:

- Υποστύλωμα 24- HEB220 ($M_{PL,Rd}=293.62 \text{ kNm}$) , προσαύξηση $x=5,9$
- Υποστύλωμα 3- HEB 240 ($M_{PL,Rd}= 373,9 \text{ kNm}$), προσαύξηση $x=5,23$
- Υποστύλωμα 18 – HEB260 ($M_{PL,Rd}=455.5 \text{ kNm}$), προσαύξηση $x=5,025$
- Υποστύλωμα 15 – HEB 300 ($M_{PL,Rd}= 663,3 \text{ kNm}$), προσαύξηση $x=4,34$

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται ο έλεγχος του εσωτερικού υποστυλώματος 663 (διατομή HEB300) του 1^{ου} ορόφου του εξωτερικού πλαισίου υπό κάμψη και θλίψη, κάνοντας την παραδοχή ότι ο έλεγχος αυτός είναι δυσμενέστερος από τους ελέγχους διατομής, οι οποίοι θα ικανοποιούνται εφόσον ικανοποιούνται και οι έλεγχοι μέλους. Αντίστοιχοι έλεγχοι πραγματοποιήθηκαν για όλα τα υποστυλώματα και προέκυψε ότι επαρκούσαν για τους επαυξημένους σεισμικούς συνδυασμούς.



Σχήμα 5.16: Εντατικά μεγέθη υποστυλώματος α) N (kN) β) V (kN) γ) My (kNm)

ΦΟΡΤΙΑ:

ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΦΟΡΤΙΣΗ: 46 COMB32: DL+ADL+0.3*Q+3.12*Ex+0.3*Ey (1+2)*1.00+(3+12)*0.30+11*3.12

ΥΛΙΚΟ:

S355 (S355) $f_y = 355.00$ MPa



ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΔΙΑΤΟΜΗΣ: HEB 260

h=26.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	Ax=118.44 cm ²
b=26.0 cm	Ay=100.74 cm ²	Az=37.59 cm ²	Ix=125.00 cm ⁴
tw=1.0 cm	Iy=14919.40 cm ⁴	Iz=5134.52 cm ⁴	Ix=125.00 cm ⁴
tf=1.8 cm	Wply=1283.00 cm ³	Wplz=602.26 cm ³	

ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΟΧΕΣ:

N _{Ed} = 624.89 kN	My _{Ed} = 7.85 kN*m	Mz _{Ed} = 2.40 kN*m	Vy _{Ed} = 1.36 kN
N _{c,Rd} = 4204.76 kN	My _{Ed,max} = 230.33 kN*m		Mz _{Ed,max} = 4.51 kN*m
	Vy _{T,Rd} = 2064.57 kN		
Nb _{Rd} = 2980.45 kN	My _{c,Rd} = 455.46 kN*m	Mz _{c,Rd} = 213.80 kN*m	Vz _{Ed} = 124.06 kN
	MN _{y,Rd} = 438.59 kN*m	MN _{z,Rd} = 213.80 kN*m	Vz _{T,Rd} = 770.47 kN
	Mb _{Rd} = 438.92 kN*m		Tt _{Ed} = -0.00 kN*m
			ΤΑΞΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ = 1



ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΛΕΥΡΙΚΟΥ ΛΥΓΙΣΜΟΥ:

z = 0.00	Mcr = 3566.18 kN*m	ΚΑΜΠΥΛΗ,LT - a	XLT = 0.96
L _{cr,upp} = 3.65 m	Lam _{LT} = 0.36	fi _{LT} = 0.58	

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΥΓΙΣΜΟΥ:



ΠΕΡΙ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ y:

Ly = 3.65 m	Lam _y = 0.78
L _{cr,y} = 6.66 m	Xy = 0.74
Lamy = 59.31	ky _y = 0.90



ΠΕΡΙ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ z:

Lz = 3.65 m	Lam _z = 0.73
L _{cr,z} = 3.65 m	Xz = 0.71
Lamz = 55.44	kyz = 0.56

ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ:

ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΗΚΟΥΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ:

N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.15 < 1.00 (6.2.4.(1))
 $(My_{Ed}/MN_{y,Rd})^2 + (Mz_{Ed}/MN_{z,Rd})^2 = 0.01 < 1.00$ (6.2.9.1.(6))
V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00 (6.2.6-7)
V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.16 < 1.00 (6.2.6-7)
 $\tau_{xy,Ed}/(f_y/(\sqrt{3}) \cdot gM0) = 0.00 < 1.00$ (6.2.6)
 $\tau_{xz,Ed}/(f_y/(\sqrt{3}) \cdot gM0) = 0.00 < 1.00$ (6.2.6)

ΟΛΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΜΕΛΟΥΣ:

Lam_{bd,y} = 59.31 < Lam_{bd,max} = 210.00 Lam_{bd,z} = 55.44 < Lam_{bd,max} = 210.00 ΣΤΑΘΕΡΟ
My_{Ed,max}/Mb_{Rd} = 0.52 < 1.00 (6.3.2.1.(1))
N_{Ed}/(Xy*N_{Rk}/gM1) + ky_y*My_{Ed,max}/(XLT*My_{Rk}/gM1) + kyz*Mz_{Ed,max}/(Mz_{Rk}/gM1) = 0.68 < 1.00 (6.3.3.(4))
N_{Ed}/(Xz*N_{Rk}/gM1) + kzy*My_{Ed,max}/(XLT*My_{Rk}/gM1) + kzz*Mz_{Ed,max}/(Mz_{Rk}/gM1) = 0.48 < 1.00 (6.3.3.(4))

ΔΙΑΤΟΜΗ OK !!!

Σχήμα 5.17: έλεγχος επάρκειας υπ/τος 660 έναντι επαυξημένου σεισμού Ex

5.3.5 Περιορισμός Βλαβών

Επαναλαμβάνεται η διαδικασία που περιγράφεται στην παράγραφο (5.2.4) όσον αφορά την απαίτηση για τον περιορισμό των βλαβών για κάθε όροφο της κατασκευής, μέσω της σχέσης (5.5). Με βάση τις τιμές των σχετικών μετακινήσεων και του ύψους των ορόφων του Πίνακα 5.3 προκύπτει:

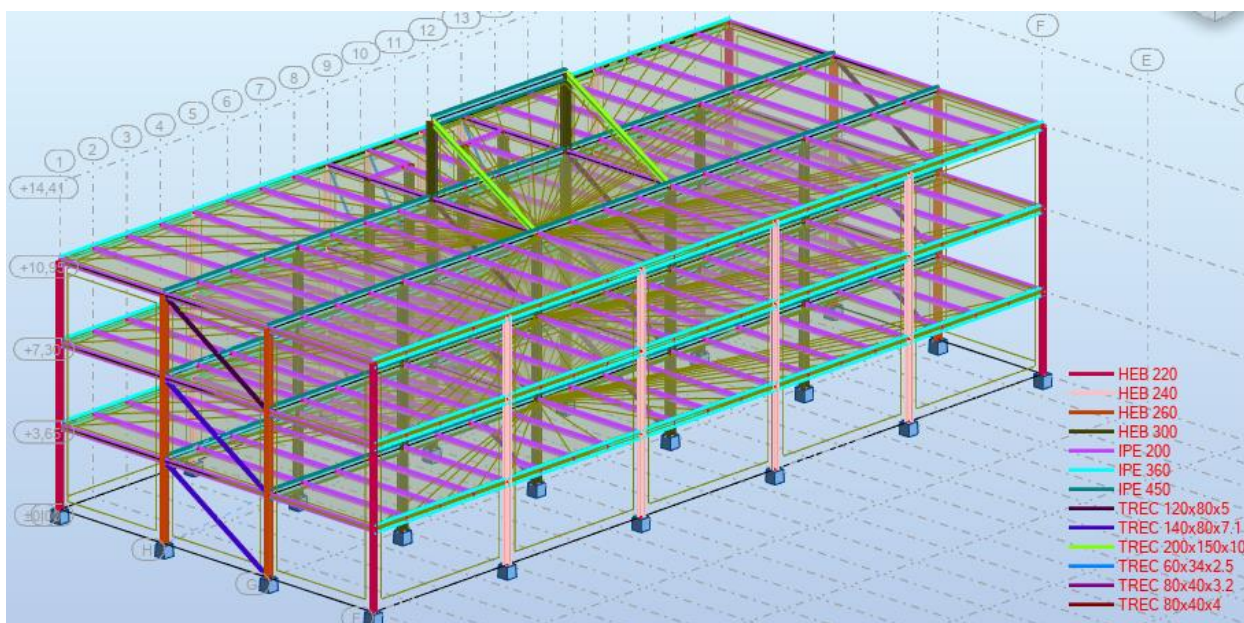
- Ισόγειο: $dr \cdot v = 1,7 \text{ cm} \leq 0,0075 \cdot h = 2,74 \text{ cm}$
- 1ος όροφος: $dr \cdot v = 2,15 \text{ cm} \leq 0,0075 \cdot h = 2,74 \text{ cm}$
- 2ος όροφος: $dr \cdot v = 1,45 \text{ cm} \leq 0,0075 \cdot h = 2,74 \text{ cm}$
- οροφή : $dr \cdot v = 0,25 \text{ cm} \leq 0,0075 \cdot h = 2,6 \text{ cm}$

Επομένως οι έλεγχοι για τον περιορισμό των βλαβών ικανοποιούνται και στη διεύθυνση X, σε όλους τους ορόφους του κτιρίου.

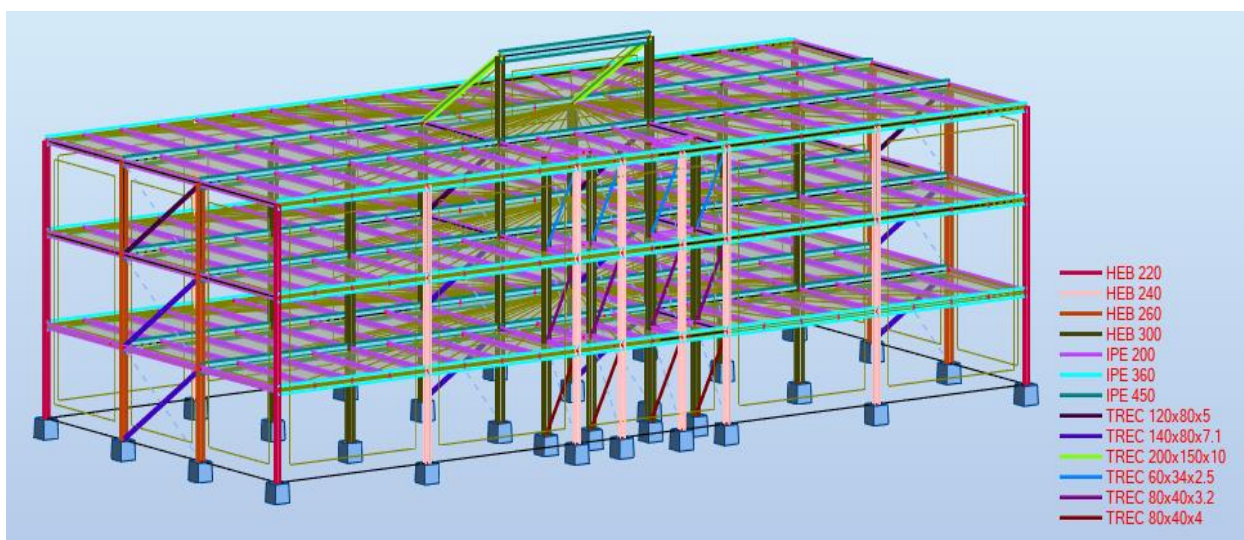
Σημαντική παρατήρηση που προκύπτει μέσω της σύγκρισης των αποτελεσμάτων για τις δύο διευθύνσεις σεισμού είναι ότι για σεισμό κατά X (πλαίσια ροπής) η κατασκευή είναι πιο εύκαμπτη με μεγαλύτερες σχετικές μετακινήσεις των ορόφων, σε σχέση με διεύθυνση σεισμού Y (πλαίσια με χιαστί συνδέσμους), γεγονός που ήταν και αναμενόμενο καθώς στην τελευταία περίπτωση σημαντικό μέρος της σεισμικής δύναμης αναλαμβάνουν οι χιαστί σύνδεσμοι δυσκαμψίας.

5.3.6 Συμπεράσματα

Βάσει των ελέγχων φαινομένων 2ας τάξεως και τον περιορισμό των βλαβών έγινε η διαστασιολόγηση των στοιχείων που παραλαμβάνουν τα οριζόντια φορτία (σύνδεσμοι δυσκαμψίας & υποστυλώματα). Η κατασκευή αποδείχτηκε αρκετά εύκαμπτη οπότε απαιτήθηκαν τελικά ορισμένες μεγαλύτερες διατομές στους μεταλλικούς χιαστί συνδέσμους δυσκαμψίας απ' ότι απαιτούσαν οι έλεγχοι σε αντοχή. Αυτό είχε βέβαια σαν επακόλουθο την αύξηση της δυσκαμψίας σε τέτοιο βαθμό ώστε να μην απαιτείται τελικά ανάλυση 2ας τάξης και αυξημένες απαιτήσεις στα υποστυλώματα, τα οποία εν τέλει διαστασιολογήθηκαν για αρκετά αυξημένους ικανοτικούς σεισμούς. Παρακάτω παρουσιάζονται οι τελικές διατομές όλων των μελών της κατασκευής όπως προέκυψαν από τη ανάλυση του κτιρίου και ικανοποίηση όλων των ελέγχων.



Σχήμα 5.18 Τελικές Διατομές Κτιρίου Γραφείων, Νοτιοδυτική Όψη



Σχήμα 5.19 Τελικές Διατομές Κτιρίου Γραφείων, Βορειοανατολική Όψη

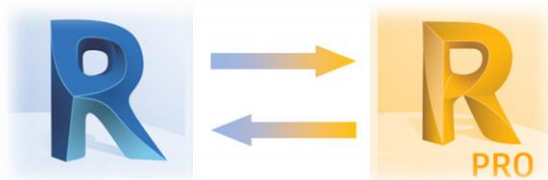
6 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ

Σ' αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η ενεργειακή ανάλυση του σχεδιαζόμενου Κτιρίου Γραφείων, μέσω του λογισμικού Revit της Autodesk [18]. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται μέσω διαγραμμάτων τα αποτελέσματα της ενεργειακής συμπεριφοράς της κατασκευής, η επίδραση διαφορετικών συστημάτων ψύξης-θέρμανσης-εξαερισμού-παραγωγής ZNX (HVAC) και συστημάτων φωτισμού, καθώς και τα οφέλη από την πιθανή τοποθέτηση φωτοβολταϊκών στοιχείων. Τέλος, παραθέτονται εναλλακτικές προτάσεις και στρατηγικές που δύναται να εφαρμοστούν στη κατασκευή για ακόμα καλύτερη ενεργειακή απόδοση.

6.1 Λογισμικά Ενεργειακής Προσομοίωσης & Επιλογή Προγραμμάτων

Υπάρχουν διαθέσιμα αρκετά λογισμικά ενεργειακής προσομοίωσης ενός κτιρίου που καθιστούν δυνατή τη γνώση των βέλτιστων πρακτικών και επεμβάσεων πάνω σ' αυτό ώστε να είναι περισσότερο αποδοτικό ενεργειακά. (διαθέσιμα μέσω εμπορικής ή εκπαιδευτικής χρήσης). Μεταξύ αυτών είναι το Energy plus, το DOE-2, το eQUEST, το EcoDesigner, το Green Building Studio (GBS), το Revit της Autodesk, το TRNSYS, το IES VE, το Ecotect, το Design Builder, το Energy10 και άλλα.

Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε η χρήση του λογισμικού Autodesk Revit 2019, που μέσω της πλατφόρμας Insight 360 εκτελεί την ενεργειακή ανάλυση κτιρίων και δίνει αποτελέσματα ως προς την ενεργειακό αποτύπωμα της κατασκευής. Και τα δύο λογισμικά είναι διαθέσιμα σε εκπαιδευτική έκδοση από την Autodesk, ενώ ακόμη υπάρχει η δυνατότητα αμφίδρομης σύνδεσης μεταξύ του λογισμικού Revit 2019 με το αντίστοιχο της Autodesk Robot Structural Analysis 2019 που χρησιμοποιήθηκε για το σχεδιασμό της κατασκευής. Επιτρέπεται, λοιπόν, η ομαλή δημιουργία ροής εργασιών, διευκολύνοντας στη μείωση χρόνου που απαιτείται για τη δημιουργία και την ενημέρωση μοντέλων πολλαπλών αναλύσεων.

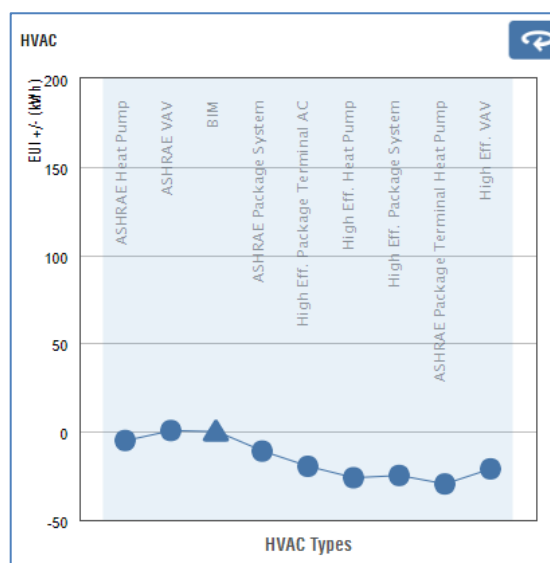


Το Insight είναι μια υπηρεσία που διατίθεται online για τις εκδόσεις Revit 2016 και μεταγενέστερες και ενσωματώνεται της Γραμμή Εργαλείων του Revit δίνοντας έτσι τη δυνατότητα ενεργειακής ανάλυσης του τρισδιάστατου μοντέλου, ανάλυσης των θερμικών και ψυκτικών φορτίων, των φορτίων φωτισμού, αλλά και της ηλιακής ανάλυσης μέσω του Energy Plus και των υπηρεσιών cloud.

Η πλατφόρμα βασίζεται στους στόχους που έχει θέσει η Αμερικάνικη Ένωση Αρχιτεκτόνων για το 2030 (AIA 2030) μέσω ενός πλαισίου για τη μείωση της εξάρτισης από τα ορυκτά καύσιμα στα Κτίρια και τη επίτευξη μηδενικά ανθρακούχων κτιρίων έως το διάστημα αυτό. Το αποτέλεσμα για την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας που προκύπτει (Energy Use Intensity-EUI) βασίζεται στη νομοθεσία των ΗΠΑ «ASHRAE 90.1 & Architecture 2030», οπότε είναι λογικό να υπάρχουν αποκλίσεις από αντίστοιχα αποτελέσματα που θα εφάρμοζαν ακριβώς τις απαιτήσεις του Ελληνικού Κανονισμού Κ.Εν.Α.Κ.

Τέλος ένα σημαντικό πλεονέκτημα της συγκεκριμένης πλατφόρμας αποτελεί η δυνατότητα σε πραγματικό χρόνο, μέσω εργαλείων προβολής να αλλάζουν οι πληροφορίες του κτιρίου, οπότε και να εξετάζονται διαφορετικά σενάρια με σκοπό τη μείωση του δείκτη EUI. Όπως φαίνεται στο

παρακάτω Σχήμα 6.1. με τρίγωνο εμφανίζεται στο διάγραμμα η επιλογή που έχει καθοριστεί κατά την ενεργειακή παραμετροποίηση στο Revit, και μεταβάλλοντας αντίστοιχα στο επιθυμητό σημείο επιτυγχάνεται μεταβολή του Δείκτη EUI.



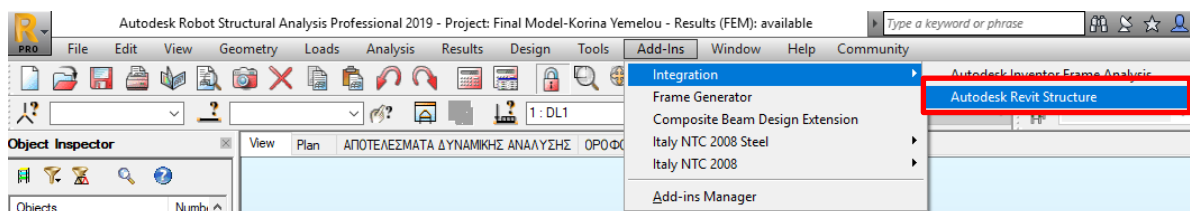
Σχήμα 6.1. Ενδεικτικό Διάγραμμα Εργαλείου Προβολής για επιλογή συστήματος HVAC, Insight Autodesk

Στη παρούσα εργασία αφού ορίστηκε το Κτίριο Αναφοράς πραγματοποιήθηκε σύγκρισή του με διάφορα σενάρια και επιλέχθηκε το βέλτιστο που να προσαρμόζεται όσο γίνεται στα ελληνικά δεδομένα.

6.2 Ενεργειακή Προσομοίωση κτιρίου στο Revit

6.2.1 Γενικά

Αφότου ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός του Κτιρίου Γραφείων στο λογισμικό Robot 2019 της Autodesk, επιλέγεται από το “Menu Bar” η εντολή *Adds-Ins* και μέσω της επιλογής *Integration* → *Autodesk Robot Structure* εξάγεται ολόκληρο το μοντέλο στο λογισμικό Revit 2019 (Σχήμα 6.2.).



Σχήμα 6.2: Διαδικασία αποστολής μοντέλου από το Robot 2019 στο Revit 2019

Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία εξαγωγής του μοντέλου, ακολουθεί η διαδικασία εισαγωγής στο λογισμικό Revit των υπολοίπων στοιχείων που απαιτούνται, για την ενεργειακή προσομοίωση, δηλαδή των πλακών των ορόφων και οροφής αλλά και των τοίχων πληρώσεων με τα ανοίγματα.

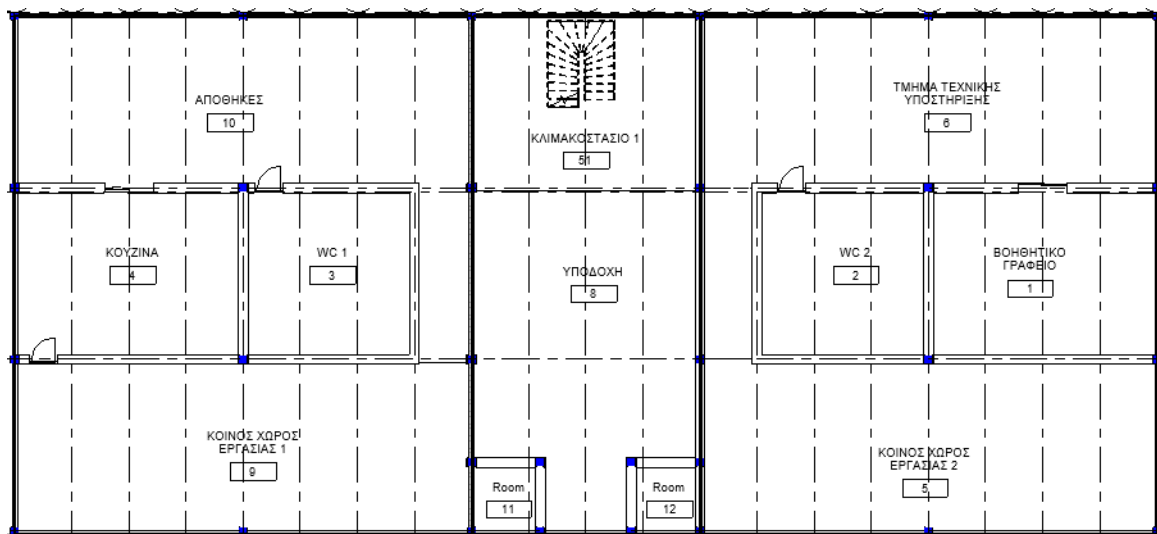
Το λογισμικό Revit της Autodesk, λόγω της σχεδίασης και παραμετροποίησης του στην Αμερική, βασίζεται στα πρότυπα “ASHRAE”, που σημαίνει ότι χρησιμοποιείται μια εκτενή

βάση δεδομένων με «έξυπνες» προεπιλογές που λαμβάνονται από εκεί. Για το συγκεκριμένο λόγο έγινε προσπάθεια να χρησιμοποιηθούν υλικά αυτής της βάσης δεδομένων που να συμβαδίζουν , όσο γίνεται, με τις απαιτήσεις του Κ.Εν.Α.Κ. για θερμομόνωση, αλλά δεν αποτελούν τις ακριβές σχεδιαστικές παραμέτρους. Αντίστοιχα συμβαίνει και για τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης, που τα διάφορα σενάρια επιλογής βασίζονται σε επιλογές της πλατφόρμας από το πρότυπο. Πάνω σε αυτή την κατεύθυνση, αφού ελέγχθησαν οι διαθέσιμες επιλογές και αποφασίστηκε το καλύτερο σενάριο, προτάθηκαν διάφορες εναλλακτικές με βάση τα ελληνικά δεδομένα και συστήματα.

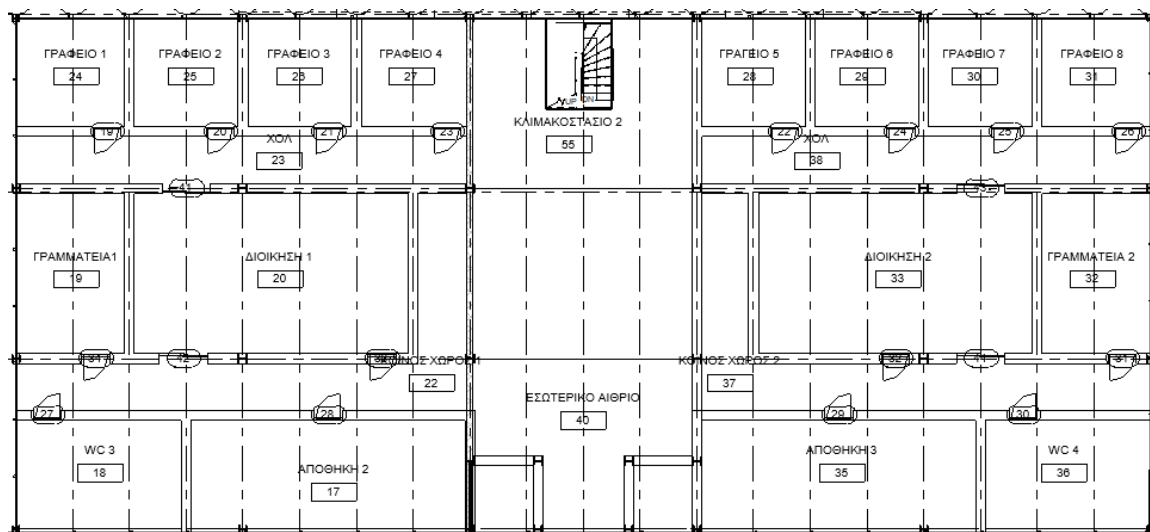
6.2.2 Αρχιτεκτονικός Σχεδιασμός Κτιρίου στο λογισμικό Revit

Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν δομικά υλικά από τη βιβλιοθήκη του λογισμικού και σχεδιάστηκε το κτίριο με τους εσωτερικούς του χώρους. Εκ νέου αναφέρεται πως δεν ενδιαφέρει η σύνθεση των υλικών καθώς επιλέγεται συγκεκριμένη σύνθεση για κάθε κατηγορία δομικού στοιχείου από τις ρυθμίσεις ενεργειακής ανάλυσης στη συνέχεια. Σε ότι αφορά την εσωτερική αρχιτεκτονική (Σχήματα 6.3/ 6.4/ 6.5):

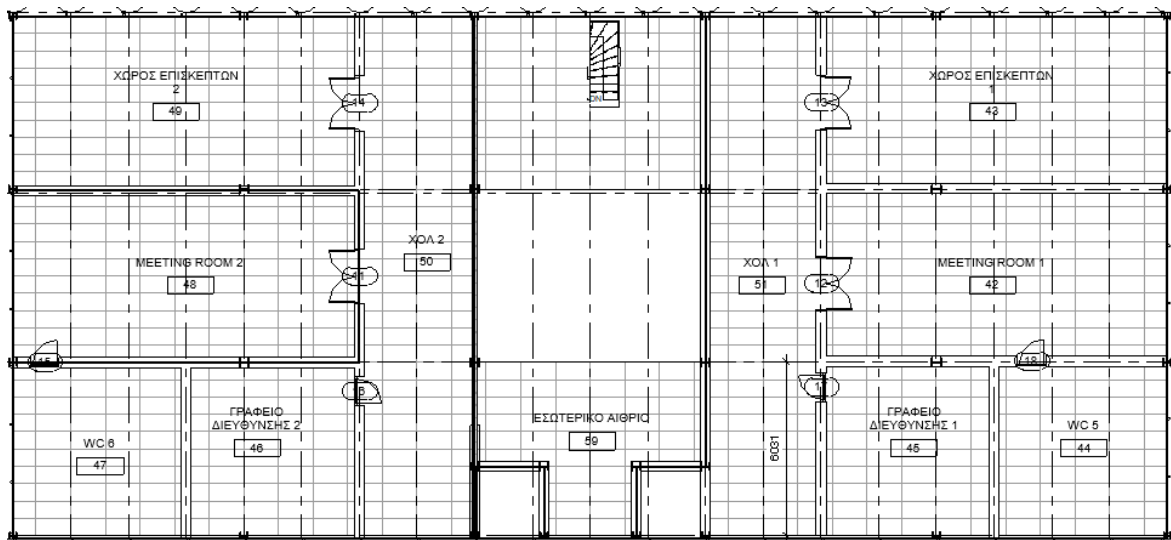
- Στη βόρεια (ψυχρή) πλευρά ,στην οποία βρίσκεται και η είσοδος τοποθετήθηκαν οι αποθήκες, οι ανελκυστήρες, οι τουαλέτες, ορισμένα γραφεία και χώροι με μηχανήματα που έχουν μικρές απαιτήσεις φωτισμού και λειτουργούν συνολικά σε ζώνη ανάσχεσης των ψυχρών βόρειων ανέμων. Στην πλευρά αυτή τοποθετήθηκαν επίσης ο χώρος στάθμευσής αυτοκινήτων. Σε ότι αφορά τα ανοίγματα συστήνεται να είναι μικρά αφού, παρόλο που η ένταση του φωτός είναι σταθερή, δεν υπάρχουν ηλιακά κέρδη για τους εσωτερικούς χώρους και τα βορινά ανοίγματα ευθύνονται επί το πλείστον για τις απώλειες θερμότητας.
- Στη νότια πλευρά τοποθετήθηκαν οι χώροι που απαιτούν το μεγαλύτερο ηλιακό κέρδος και χρησιμοποιούνται περισσότερο, όπως τα κύρια γραφεία και οι χώροι συνάθροισης. Στη πλευρά αυτή επιβάλλεται να τοποθετηθούν κατάλληλα συστήματα οριζόντιας σκίασης ώστε να εμποδίζεται, ειδικά το καλοκαίρι, η απευθείας ηλιακή ακτινοβολία στο εσωτερικό.
- Στην ανατολική και δυτική πλευρά που περιβάλλει το εσωτερικό αίθριο τοποθετήθηκαν το εστιατόριο, η κουζίνα και ορισμένοι χώροι συνεδριάσεων και συσκέψεων. Στη πλευρά αυτή προτιμώνται μέτριου μεγέθους ανοίγματα γιατί ο ηλιασμός των εσωτερικών χώρων σε αυτές τις διευθύνσεις είναι ολιγόωρος. Επειδή συνδράμουν σημαντικά στα φορτία ψύξης, τα ανοίγματα στα ανατολικά και κυρίως αυτά στη δύση πρέπει να σκιάζονται κατάλληλα και κυρίως με κατακόρυφα συστήματα σκίασης.



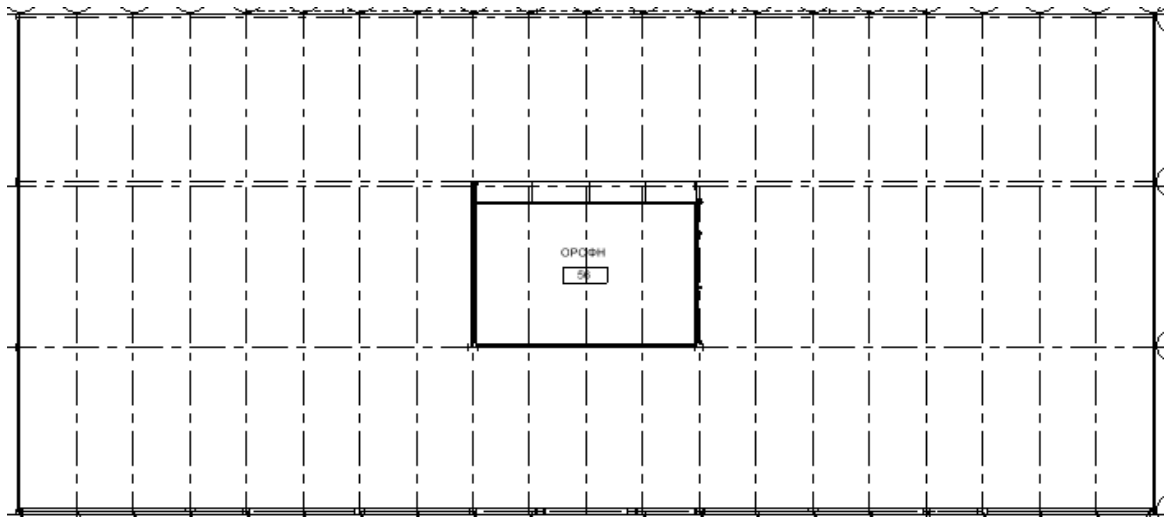
Σχήμα 6.3: Κάτοψη εσωτερικής διαρρύθμισης ισογείου, Level 0



Σχήμα 6.4: Κάτοψη εσωτερικής διαρρύθμισης 1^{ου} ορόφου, Story 1



Σχήμα 6.5: Κάτοψη εσωτερικής διαρρύθμισης 2^{ου} ορόφου, Story 2

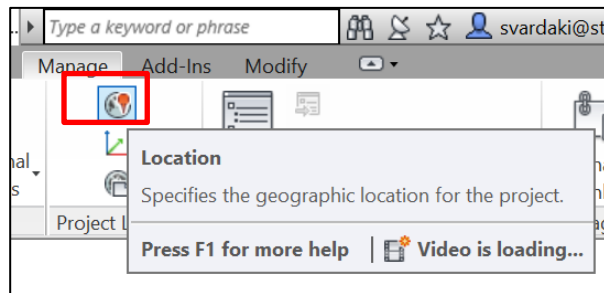
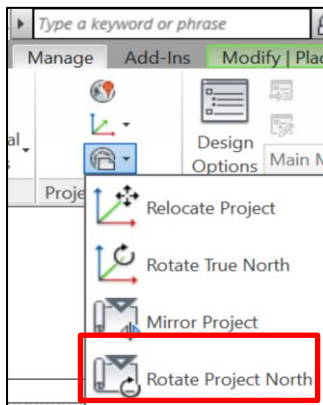


Σχήμα 6.6: Κάτοψη οροφής, Story 3

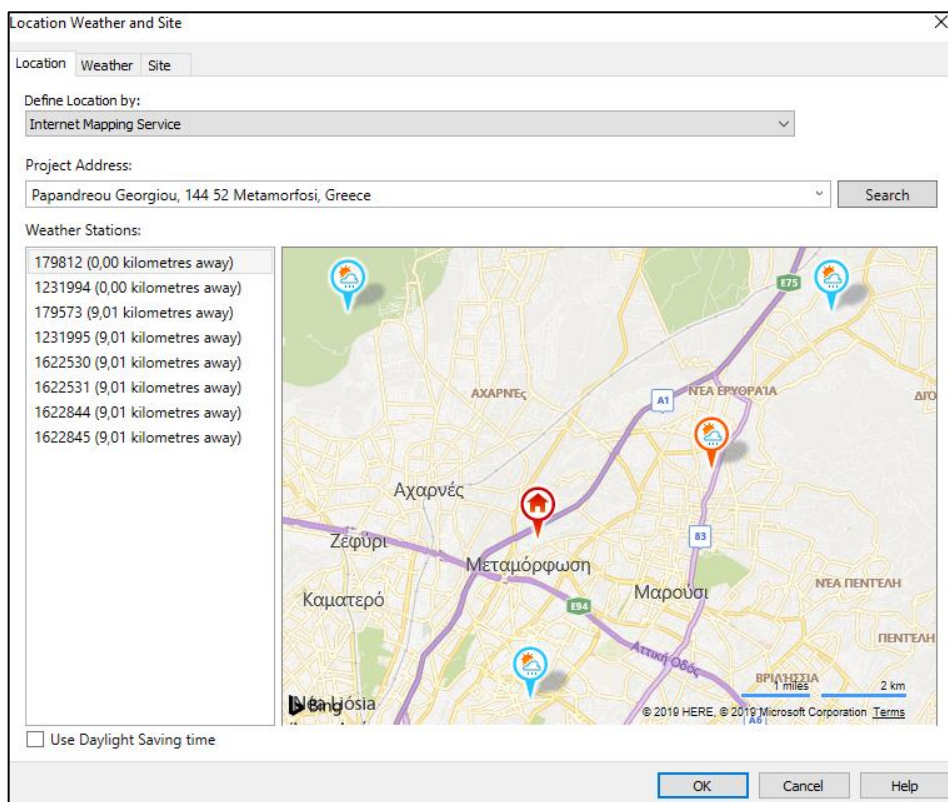
6.2.3 Καθορισμός Προσανατολισμού Κτιρίου-Γεωγραφικής Τοποθεσίας

Αρχικά καθορίστηκε ο προσανατολισμός του κτιρίου περιστρέφοντας την κάτοψή του και αλλάζοντας τον προσανατολισμό της, ώστε τόσο ο βορράς σχεδίασης (Project North), όσο και ο πραγματικός βορράς (True North) να είναι προς τα πάνω στην περιοχή σχεδίασης. Από την καρτέλα *Διαχείριση (Manage)*, επιλέγεται θέση «*position*» και στην πτυσσόμενη λίστα επιλέγεται «*περιστροφή πραγματικού βορρά*» (Rotate True North- Σχήμα 6.7). Με αυτή την επιλογή καθορίζεται γραφικά η τελική θέση του πραγματικού Βορρά του Κτιρίου που είναι με μια μικρή κλίση προς τα δυτικά, όπως προαναφέρθηκε στην παράγραφο 3.1.1. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι επιλέχθηκε κλίση του Βορρά 15° προς την Ανατολή.

Μέσω της ίδιας καρτέλας καθορίζεται και η γεωγραφική τοποθεσία, απ' την οποία εξαρτώνται τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής και επιδρούν σημαντικά στις απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης ενός κτιρίου. Στην παρούσα εργασία όπως έχει αναφερθεί, επιλέχθηκε η γεωγραφική θέση της Λυκόβρυσης Αττικής, σα διεύθυνση δόθηκε το υποθετικό οικόπεδο που επιλέχθηκε μέσω του Google Maps (Σχήμα 6.8), ενώ για το κοντινότερο μετεωρολογικό σταθμό της περιοχής προέκυψαν τα αποτελέσματα που φαίνονται στο Σχήμα 6.9.



Σχήμα 6.7.: Εργαλείο για επιλογή πραγματικού προσανατολισμού και επιλογή τοποθεσίας έργου



Σχήμα 6.8: Παράθυρο διαλόγου για επιλογή τοποθεσίας και μετεωρολογικού σταθμού

Location Weather and Site

Location Weather Site

☒ Use HVAC design data from weather station (179812_2006)

Cooling Design Temperatures

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Dry Bulb	15 °C	17 °C	21 °C	25 °C	31 °C	34 °C	33 °C	37 °C	31 °C	27 °C	19 °C	16 °C
Wet Bulb	12 °C	11 °C	13 °C	15 °C	16 °C	21 °C	21 °C	22 °C	20 °C	18 °C	11 °C	12 °C
Mean Daily Range	7 °C	9 °C	11 °C	12 °C	13 °C	12 °C	11 °C	13 °C	10 °C	9 °C	10 °C	9 °C

Heating Design Temperature: 0 °C

Clearness Number: 1.0

OK Cancel Help

Σχήμα 6.9: Θερμοκρασίες σχεδιασμού για θέρμανση και ψύξη της επιλεγμένης τοποθεσίας.

6.2.4 Καθορισμός Ενεργειακών Παραμέτρων

Σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. η ελληνική επικράτεια διαιρείται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες με βάση τις βαθμομέρες θέρμανσης. Στη παρούσα εργασία το υποθετικό οικοπέδο επιλέχθηκε να βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή της Μεταμόρφωσης, Αττικής όπου δεν ξεπερνιούνται σε υψόμετρο τα 500m, οπότε εντάσσεται στην **Κλιματική Ζώνη Β**.

Για αυτή τη ζώνη ορίζονται μέσω του Κ.Εν.Α.Κ. οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του Συντελεστή Θερμοπερατότητας των Δομικών Στοιχείων (U-Value). Τελικά θα επιλεγούν από τη βιβλιοθήκη του λογισμικού Revit υλικά που θα συμβαδίζουν με τις προδιαγραφές του Ελληνικού Κανονισμού ώστε να ανταποκρίνονται τα δομικά στοιχεία όσο γίνεται καλύτερα στα ελληνικά δεδομένα. Από την καρτέλα Analyze, επιλέχθηκαν οι ενεργειακές ρυθμίσεις και εν συνεχεία η επιλογή Material Thermal Properties. Για κάθε κατηγορία δομικού στοιχείου επιλέχθηκε υλικό της βάσης που να προσαρμόζεται στις ελληνικές απαιτήσεις Συντελεστή Θερμοπερατότητας. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.10. όλα τα υλικά βρίσκονται εντός των ορίων για μέγιστο συντελεστή U-Value στην Κλιματική Ζώνη Β, κατά Κ.Εν.Α.Κ..

Όσον αφορά την οροφή του κτιρίου που στο λογισμικό Robot είχε σχεδιαστεί με την παραδοχή ότι θα είναι φυτεμένο δώμα, εδώ προσομοιώθηκε ως απλή πλάκα οροφής, καθώς δεν υπήρχε η αντίστοιχη επιλογή.

Analysis Properties		
By default, analysis properties are generated from information in Conceptual Types. Properties of Schematic Types are used when override is selected.		
Category	Override	Analytic Construction
Roofs	<input checked="" type="checkbox"/>	Membrane, sheathing, R-15 insulation board, metal deck (U=0.3230 W/(m ² ·K))
Exterior Walls	<input checked="" type="checkbox"/>	Lightweight curtain wall (U=0.4522 W/(m ² ·K))
Interior Walls	<input checked="" type="checkbox"/>	Siding, R-10 insulation, interior finish (U=0.4372 W/(m ² ·K))
Ceilings	<input type="checkbox"/>	8 in lightweight concrete ceiling (U=1.3610 W/(m ² ·K))
Floors	<input checked="" type="checkbox"/>	Vinyl, screed, concrete, 2 in insulation, building board (U=0.5000 W/(m ² ·K))
Slabs	<input type="checkbox"/>	Un-insulated solid (U=0.7059 W/(m ² ·K))
Doors	<input checked="" type="checkbox"/>	French door, wood frame with double glass (U=2.9639 W/(m ² ·K))
Exterior Windows	<input checked="" type="checkbox"/>	Double glazing - 1/8 in thick - low-E/clear (e = 0.2) glass (U=1.9873 W/(m ² ·K), SHGC=0.65)
Interior Windows	<input checked="" type="checkbox"/>	Double glazing - 1/8 in thick - low-E/clear (e = 0.2) glass (U=1.9873 W/(m ² ·K), SHGC=0.65)
Skylights	<input checked="" type="checkbox"/>	Double glazing - 1/8 in thick - low-E/clear (e = 0.2) glass (U=1.9873 W/(m ² ·K), SHGC=0.65)

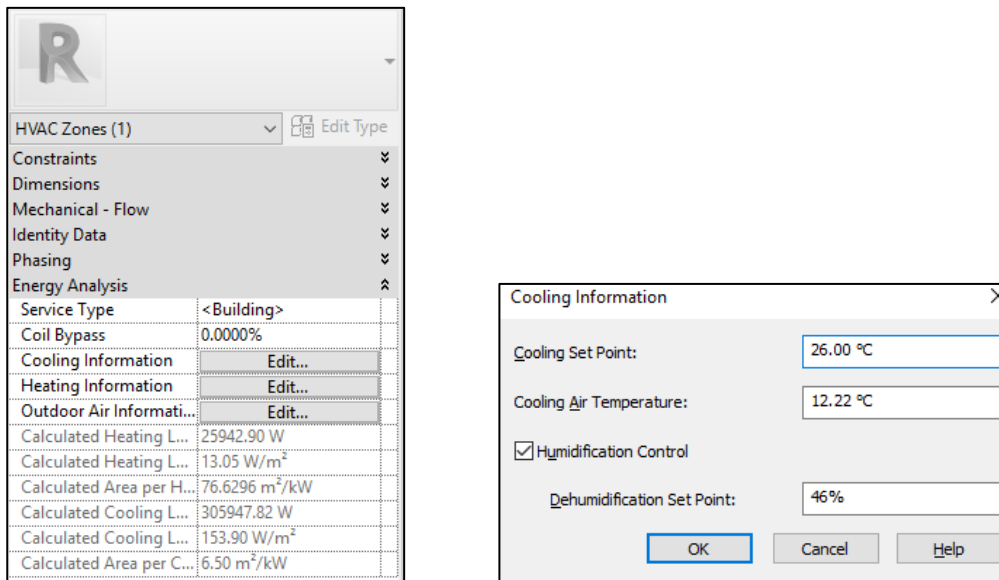
Σχήμα 6.10: : Τιμές Κατασκευής και Συντελεστής Θερμοπερατότητας

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΣΥΜΒΟΛΟ	Συντελεστής Θερμοπερατότητας [W/(m ² ·K)]			
		ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ			
		A	B	Γ	Δ
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφές)	U _b	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	U _w	0,60	0,50	0,45	0,40
Δάπεδα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (pilotis)	U _{DL}	0,50	0,45	0,40	0,35
Δάπεδα σε επαφή με το έδαφος ή με κλειστούς μη θερμαινόμενους χώρους	U _G	1,20	0,90	0,75	0,70
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με μη θερμαινόμενους χώρους ή με το έδαφος	U _{WE}	1,50	1,00	0,80	0,70
Ανοίγματα (παράθυρα, πόρτες μπαλκονιών κτ)	U _F	3,20	3,00	2,80	2,60
Γυάλινες προσόψεις κτιρίων μη ανοιγόμενες και μερικώς ανοιγόμενες	U _{GF}	2,20	2,00	1,80	1,80

Σχήμα 6.11 Μέγιστη Τιμή Συντελεστή U-Value κατά Κ.Εν.Α.Κ.

Μέσω της καρτέλας Analyze καθορίζονται επίσης δωμάτια (rooms) ή και χώροι (spaces), που αποτελούν υποδιαίρεσεις του χώρου μέσα στο κτίριο και περικλείονται από δομικά στοιχεία, όπως οι τοίχοι, το πάτωμα και η στέγη. Για κάθε χώρο (space) είναι δυνατόν να οριστούν συνθήκες κλιματισμού (cooled, heated, cooled & heated, naturally vented ή unconditioned). Τέλος γίνεται ορισμός θερμικών ζωνών από την ίδια καρτέλα, δηλαδή επιλογή χώρων (spaces) στους οποίους καθορίζεται ίδια θερμοκρασία για θέρμανση και ψύξη καθώς και ίδια υγρασία και ενοποίηση τους στην ίδια ζώνη.

Στο συγκεκριμένο κτίριο όλοι οι χώροι ισογείου, 1^{ου} και 2^{ου} επιλέχθηκαν Κλιματιζόμενοι & Θερμαινόμενοι (Cooled & Heated) και ενσωματώθηκαν στη Ζώνη 1, εκτός από την κεκλιμένη οροφή (Story 3) που επιλέχθηκε να είναι Κλιματιζόμενη μόνο (Cooled) και εντάχθηκε στη Ζώνη 2. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω Σχήμα 6.12 για την Ζώνη HVAC 1, τέθηκαν οι επιθυμητές θερμοκρασίες κλιματισμού, αντίστοιχα έγινε και για τη θέρμανση και με βάση τον τύπο του κτιρίου προσεγγίστηκαν τα φορτία θέρμανσης και ψύξης που απαιτούνται.



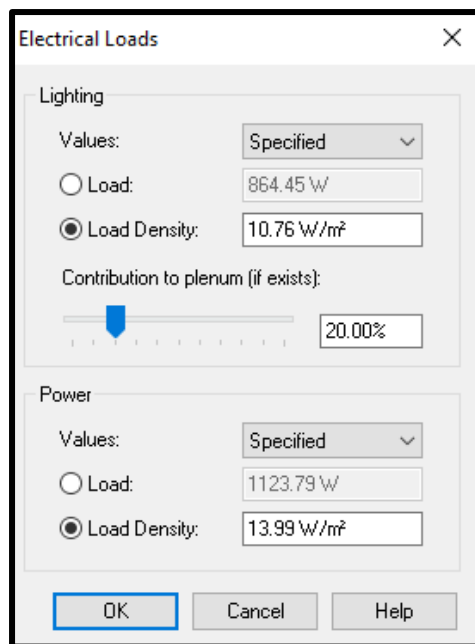
Σχήμα 6.12: Καθορισμός παραμέτρων ζώνης HVAC 1

Τα παραπάνω στοιχεία που υπολογίστηκαν αντίστοιχα και για τις 2 ζώνες του κτιρίου προέκυψαν μέσω του καθορισμού του τύπου του κτιρίου οπότε και των συνθηκών λειτουργίας του. Εκ νέου χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές που δίνονται από το λογισμικό (πρότυπα ASHRAE) και δεν μπορούν όλες να μεταβληθούν και παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 6.1.

Πίνακας 6.1: Συνθήκες λειτουργίας για Κτίριο Γραφείων

Parameter	Value
Επιφάνεια Δαπέδου ανά Άτομο	28,57 m ²
Αισθητό Φορτίο Θέρμανσης ανά Άτομο	73.27 W
Λανθάνον Φορτίο Θέρμανσης ανά Άτομο	58,61 W
Πυκνότητα Φορτίου Φωτισμού	10,76 W/m ²
Πυκνότητα Φορτίου Ενέργειας	13,99 W/m ²
Συνεισφορά Φωτισμού	20%
Ωρες Λειτουργίας	Common Office Occupancy-8am to 5pm
Πρόγραμμα Φωτισμού	Office Lighting – 6am to 11pm
Πρόγραμμα Ενέργειας	Office Lighting – 6am to 11pm
Εξωτερικός Αέρας ανά Άτομο	2.36 L/s
Εξωτερικός Αέρας ανά Μονάδα Επιφάνειας	0.3 L/(s*m ²)
Εναλλαγές Αέρα ανά Ωρα	0.0000
Ωρα Έναρξης Λειτουργίας	7:00 πμ.
Ωρα Λήξης Λειτουργίας	6:00 μμ.
Ρυθμιζόμενη Θερμοκρασία Ψύξης (απουσία χρηστών)	27,78 °C

Υπάρχουν ακόμα δυο πεδία που ορίζονται, πλέον, για κάθε χώρο (Space), αυτά των ηλεκτρικών Φορτίων και του Αριθμού των ανθρώπων που θα βρίσκονται σε αυτό, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.13, ενδεικτικά για το Χώρο του ισογείου «Υποδοχή» .



Electrical Loads

Lighting

Values: Specified

☐ Load: 864.45 W

☒ Load Density: 10.76 W/m²

Contribution to plenum (if exists):

20.00%

Power

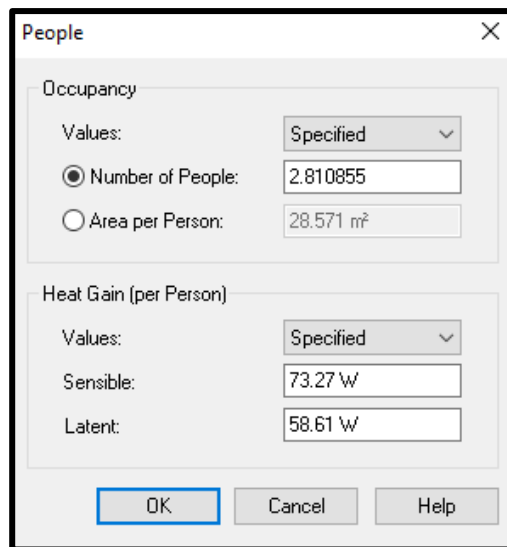
Values: Specified

☐ Load: 1123.79 W

☒ Load Density: 13.99 W/m²

OK Cancel Help

(α)



People

Occupancy

Values: Specified

☒ Number of People: 2.810855

☐ Area per Person: 28.571 m²

Heat Gain (per Person)

Values: Specified

Sensible: 73.27 W

Latent: 58.61 W

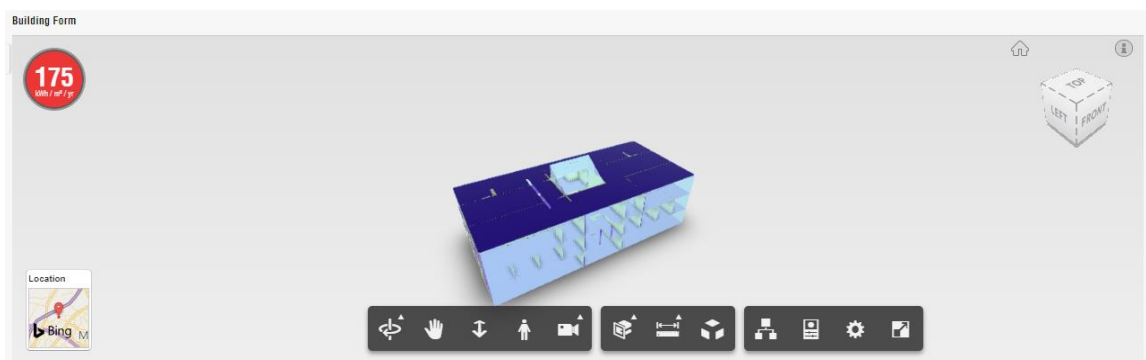
OK Cancel Help

(β)

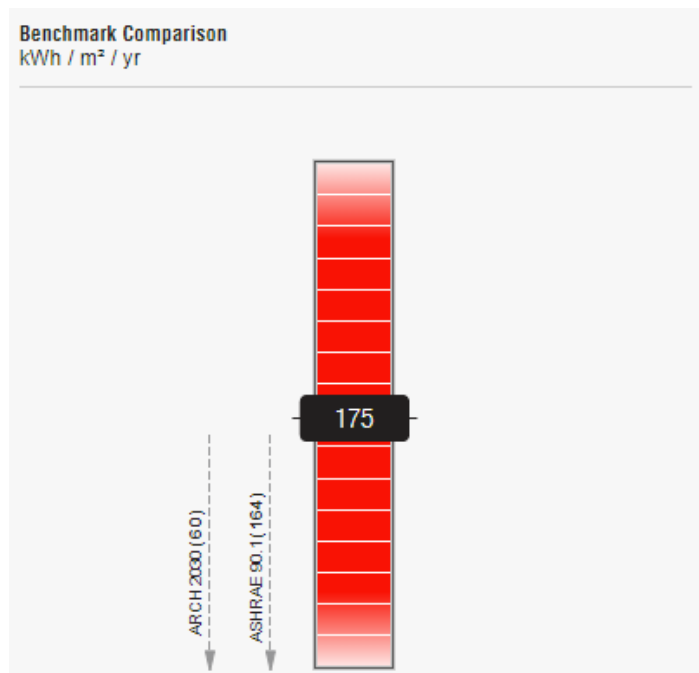
Σχήμα 6.13: Πίνακας Ηλεκτρικών Φορτίων (α) και Πίνακας Χωρητικότητας Ανθρώπων, Χώρος (Space) «Υποδοχή ισογείου»

6.3 Ενεργειακή Ανάλυση μέσω της πλατφόρμας Insight 360

Μετά τη σχεδίαση και την παραμετροποίηση του μοντέλου στο Revit της Autodesk, πραγματοποιήθηκε η ενεργειακή του ανάλυση στην πλατφόρμα του Insight και προέκυψε η τρισδιάστατη απεικόνιση που φαίνεται στο Σχήμα 6.14., στην οποία αναγράφεται και ο **Εκτιμώμενος Δείκτης Ενεργειακής Κατανάλωσης (EUI): 175 kW/m²/yr** (Σχήμα 6.15.)



Σχήμα 6.14: Τρισδιάστατη Απεικόνιση Μοντέλου και Δείκτης EUI (Πηγή: Insight Autodesk)



Σχήμα 6.15: Βαθμονόμηση μοντέλου ως προς ενεργειακή απόδοση με βάση τα πρότυπα «ASHRAE 90.1 & Architecture 2030»
(Πηγή: Insight, Autodesk)

Για τη δημιουργία του Κτιρίου Αναφοράς (Σενάριο 0), στα διαγράμματα που εμφανίζονται και παρακάτω επιλέχθηκαν:

- Οι τιμές που αντιστοιχούν στο τρίγωνο και προέκυψαν από τον τύπο που έχει καθοριστεί ως «Κτίριο Γραφείων», εκτός της τιμής που αφορά την επιφάνεια τοποθέτησης φωτοβολταϊκών στην οροφή που λήφθηκε αρχικά μηδενική.
- Ως σύστημα κλιματισμού-θέρμανσης είχε επιλεγθεί: Central VAV, HW Heat, Chiller 5.96 COP, Boilers 84.5 eff . Πρόκειται ουσιαστικά για ένα ολοκληρωμένο σύστημα κεντρικής θέρμανσης-ψύξης-εξαερισμού-παραγωγής ZNX, που χρησιμοποιεί ψυκτική αντλία με απόδοση COP 5.96 (υψηλός δείκτης για τα ελληνικά δεδομένα) ,λέβητα ζεστού νερού με απόδοση καύσης 84,5% και μονάδα παραγωγής ZNX με συντελεστή αποδοτικότητας 0,575.

Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν διαφορετικά σενάρια για να επιτευχθεί το βέλτιστο ενεργειακό αποτύπωμα. Τα σενάρια αυτά βασίζονται στις παρακάτω επιλογές, οι οποίες αποτελούν, ουσιαστικά, υλικά με αντίστοιχες ενεργειακές προδιαγραφές και μειώνουν ή αυξάνουν αντίστοιχα την ενεργειακή υπόσταση της κατασκευής.

Ο επόμενος Πίνακας 6.2. αποτελεί το Σενάριο με τις βέλτιστες επεμβάσεις που μπορούν να γίνουν στα επιλεγμένα υλικά και συστήματα ώστε να μειωθεί ο δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης του Κτιρίου.

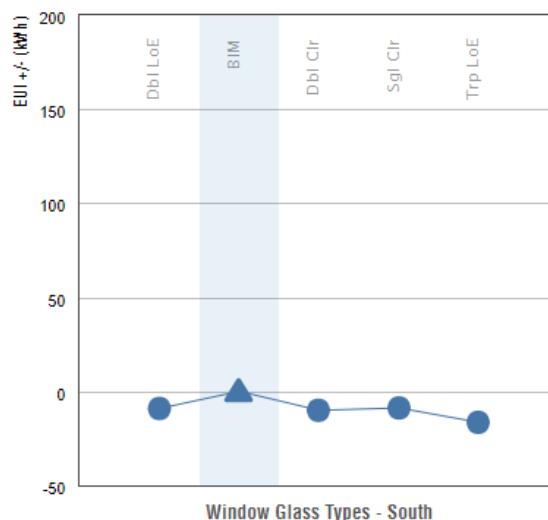
Πίνακας 6.2: Σενάριο Βέλτιστων Ενεργειακών Επεμβάσεων

<p>1) Building Orientation:</p> <p>Αφορά το προσανατολισμό που έχει οριστεί για το κτίριο σύμφωνα με τον πραγματικό Βορρά και θα παραμείνει σταθερός καθώς δεν έχει σημαντική επίδραση η αλλαγή αυτού του παράγοντα στο τελικό αποτέλεσμα.</p>	<p>Building Orientation</p> <table border="1"> <caption>Building Orientation Data</caption> <thead> <tr> <th>Building Orientation (Degrees)</th> <th>EUI +/- (kWh)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>45</td><td>~5</td></tr> <tr><td>90</td><td>~2</td></tr> <tr><td>270</td><td>~2</td></tr> <tr><td>225</td><td>~2</td></tr> <tr><td>BIM</td><td>~2</td></tr> <tr><td>0</td><td>~2</td></tr> <tr><td>180</td><td>~2</td></tr> <tr><td>315</td><td>~2</td></tr> <tr><td>135</td><td>~2</td></tr> </tbody> </table>	Building Orientation (Degrees)	EUI +/- (kWh)	45	~5	90	~2	270	~2	225	~2	BIM	~2	0	~2	180	~2	315	~2	135	~2
Building Orientation (Degrees)	EUI +/- (kWh)																				
45	~5																				
90	~2																				
270	~2																				
225	~2																				
BIM	~2																				
0	~2																				
180	~2																				
315	~2																				
135	~2																				
<p>2) WWR–Walls (Southern/Northern/Western/Eastern):</p> <p>Αφορά την περιοχή που καλύπτουν οι υαλοπίνακες προς την επιφάνεια καθαρής τοιχοποιίας και επιδρούν σημαντικά στα τελικά φορτία ψύξης -θέρμανσης. Καθώς το Κτίριο αποτελείται από Curtain Wall, παρατηρείται πως καλύπτουν τη συνολική επιφάνεια της εξωτερικής τοιχοποιίας (100%) και δε μεταβάλλεται ο δείκτης αυτός. Ενδεικτικά παρουσιάζεται το διάγραμμα που αντιστοιχεί στη Νότια Πλευρά.</p>	<p>WWR - Southern Walls</p> <table border="1"> <caption>WWR - Southern Walls Data</caption> <thead> <tr> <th>WWR - Southern Walls (%)</th> <th>EUI +/- (kWh)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>BIM (100%)</td><td>~5</td></tr> <tr><td>95%</td><td>~2</td></tr> <tr><td>80%</td><td>~0</td></tr> <tr><td>65%</td><td>~-2</td></tr> <tr><td>50%</td><td>~-4</td></tr> <tr><td>40%</td><td>~-6</td></tr> <tr><td>30%</td><td>~-8</td></tr> <tr><td>15%</td><td>~-10</td></tr> <tr><td>0%</td><td>~-12</td></tr> </tbody> </table>	WWR - Southern Walls (%)	EUI +/- (kWh)	BIM (100%)	~5	95%	~2	80%	~0	65%	~-2	50%	~-4	40%	~-6	30%	~-8	15%	~-10	0%	~-12
WWR - Southern Walls (%)	EUI +/- (kWh)																				
BIM (100%)	~5																				
95%	~2																				
80%	~0																				
65%	~-2																				
50%	~-4																				
40%	~-6																				
30%	~-8																				
15%	~-10																				
0%	~-12																				
<p>3) Window Shades (Southern/Northern/Western/Eastern):</p> <p>Αφορά την συνολική έκταση από σκιάσεις (περσίδες, οριζόντια σκίαστρα κλπ) που θα έχει το εκάστοτε άνοιγμα, ώστε να μειώνεται η ανάγκη χρήσης συστημάτων HVAC. Επιλέχθηκε τελικά σκίαση στα 2/3 των ανοιγμάτων που θα προσφέρει εξοικονόμηση:</p> <p>Νότια: 16,21 kWh/m²/yr. Βόρεια: 3,78 kWh/m²/yr. Ανατολικά: 5,85 kWh/m²/yr. Δυτικά: 3,60 kWh/m²/yr.</p>	<p>Window Shades - South</p> <table border="1"> <caption>Window Shades - South Data</caption> <thead> <tr> <th>Window Shades - South</th> <th>EUI +/- (kWh)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>BIM</td><td>~5</td></tr> <tr><td>1/6 Win Height</td><td>~-2</td></tr> <tr><td>1/4 Win Height</td><td>~-4</td></tr> <tr><td>1/3 Win Height</td><td>~-6</td></tr> <tr><td>1/2 Win Height</td><td>~-8</td></tr> <tr><td>2/3 Win Height</td><td>~-10</td></tr> </tbody> </table>	Window Shades - South	EUI +/- (kWh)	BIM	~5	1/6 Win Height	~-2	1/4 Win Height	~-4	1/3 Win Height	~-6	1/2 Win Height	~-8	2/3 Win Height	~-10						
Window Shades - South	EUI +/- (kWh)																				
BIM	~5																				
1/6 Win Height	~-2																				
1/4 Win Height	~-4																				
1/3 Win Height	~-6																				
1/2 Win Height	~-8																				
2/3 Win Height	~-10																				

4) Window Glass (Southern/Northern/Western/Eastern):

Αφορά τις ιδιότητες των υαλοπινάκων με σκοπό τη μείωση της διείσδυσης φωτός, θερμότητας και των αντίστοιχων αναγκών τους. Κατά το σχεδιασμό είχε ήδη επιλεγεί Διπλός Υαλοπίνακας Low-e με διάκενο και επιστρώσεις ειδικές για προστασία από την ηλιακή ακτινοβολία), ο οποίος δεν μεταβλήθηκε (ο αντίστοιχος Τριπλός Low-e δεν άλλαζε το συνολικό τελικό ισοζύγιο, κάτι που οφείλεται και στην ιδιότητά του να αποδίδει καλύτερα σε ψυχρά κλίματα).

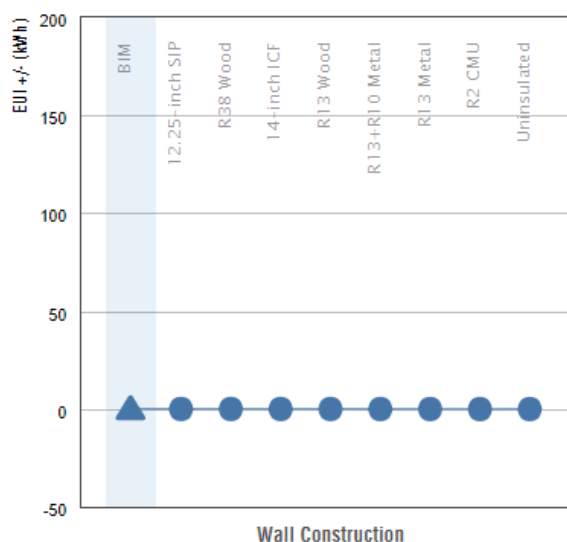
Window Glass - South



5) Wall Construction:

Αφορά την ικανότητα της συνολικής τοιχοποιίας στην αντίσταση θερμικών και ψυκτικών απωλειών. Από τις διαθέσιμες επιλογές της βάσης είχε επιλεγεί μονωμένη τοιχοποιία από γυψοσανίδα με συντελεστή θερμοπερατότητας $U\text{-value}=0.43 \text{ W/m}^2\cdot\text{k}$ και το οποίο δεν μεταβλήθηκε καθώς δε θα υπήρχαν μεγάλες αλλαγές στην τελική κατανάλωση.

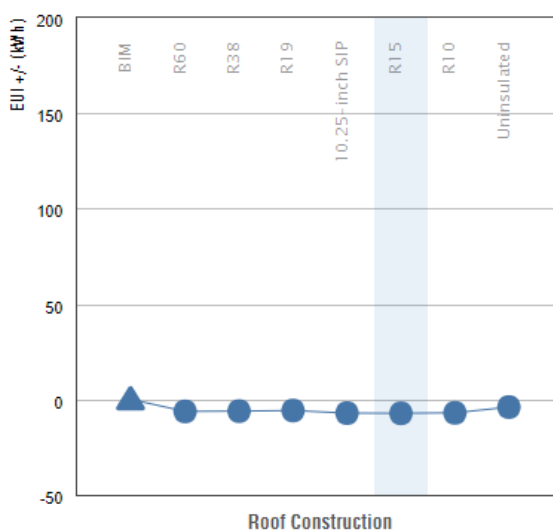
Wall Construction



6) Roof Construction:

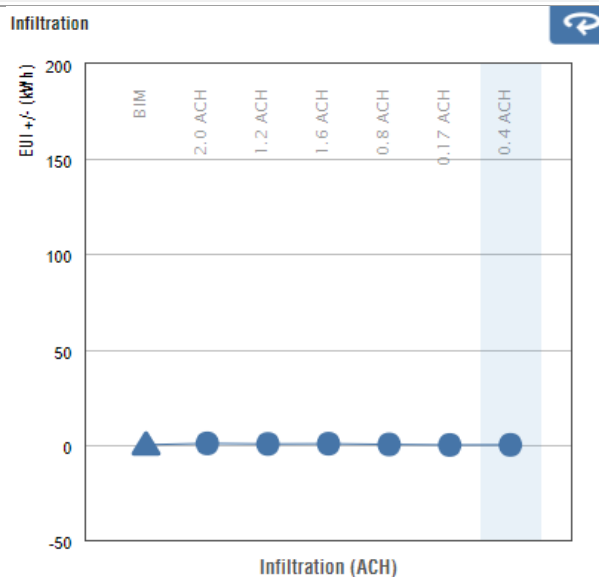
Αφορά την ικανότητα της οροφής στην αντίσταση θερμικών και ψυκτικών φορτίων. Από τις διαθέσιμες επιλογές της βάσης είχε επιλεγεί μονωμένη (με υλικό τύπου R15) οροφή με συντελεστή θερμοπερατότητας $U\text{-value}=0.32 \text{ W/m}^2\cdot\text{k}$ και το οποίο όμως μεταβλήθηκε με παρόμοιο ίδιας μόνωσης με το οποίο εξοικονομούνται 7,25 kWh/m²/yr.

Roof Construction



7) Infiltration:

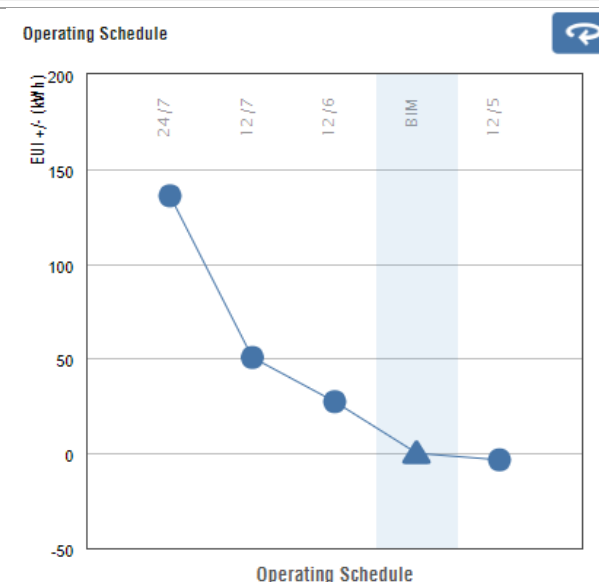
Αφορά τη διείσδυση αέρα λόγω ακούσιων διαρροών του κτιρίου. Εξαρτάται σα τιμή από τα συστήματα κουφωμάτων που υπάρχουν στο κτίριο, οπότε όσο καλύτερη απόδοση έχουν τα τελευταία, τόσο μικρότερος είναι και αυτός ο δείκτης. Υπερβολικά μεγάλη μείωση αυτού του δείκτη ($< 0,35$ ACH) απαιτεί μεγαλύτερες απαιτήσεις μηχανικού εξαερισμού, οπότε αποφασίστηκε αντικατάσταση κουφωμάτων που επιφέρουν μείωση της διείσδυσης αέρα και εξοικονόμηση $0,06 \text{ kWh/m}^2/\text{yr}$.



8) Operation Schedule:

10/5 (Κτίριο Γραφείου)

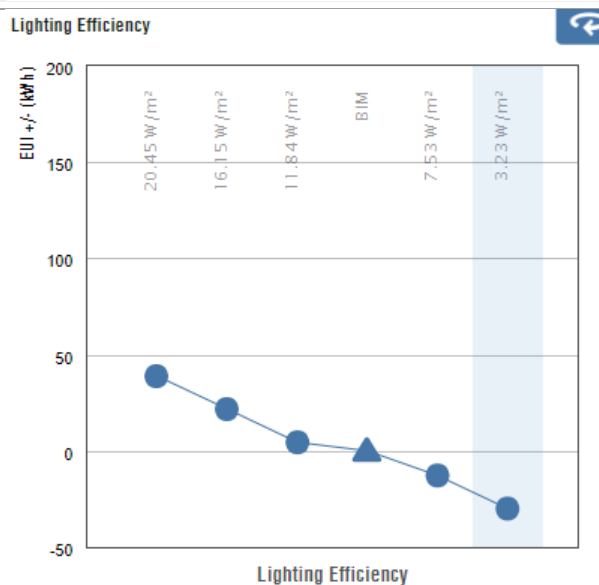
Αφορά τις τυπικές ώρες χρήσης του Κτιρίου, δηλαδή 5 ημέρες εβδομαδιαίως για 10 ώρες συνολικά και δε θα μεταβληθεί.



9) Lighting Efficiency :

Επιλεγόμενη Ισχύς : $3,23 \text{ W/m}^2$

Αφορά την κατανάλωση ενέργειας από ηλεκτρικό φορτίο ανά μονάδα επιφάνειας και με την κατάλληλη επιλογή δύναται να μειωθούν τα εσωτερικά θερμικά κέρδη. Αντικαθιστώντας τα παλαιά συστήματα με νέες τεχνολογίες φωτισμού (τύπου LED) και συνολικής ισχύος στα 2/3 της πραγματικής που καταναλώνει το κτίριο, επιτυγχάνεται μείωση ενεργειακών καταναλώσεων $30,04 \text{ kWh/m}^2/\text{yr}$.

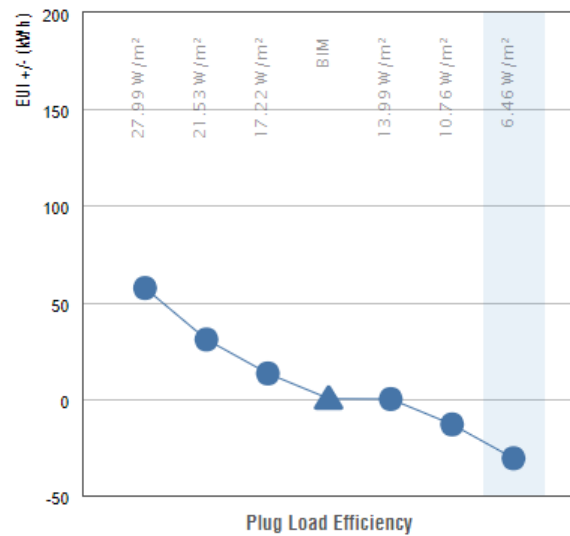


10) Plug Load Efficiency:

Επιλεγόμενη Ισχύς : 6,46 W/m²

Αφορά την κατανάλωση ενέργειας από ηλεκτρικές συσκευές (π.χ.: H/Y) και που αρχικά είχαν ισχύ 13,99 W/m². Μέσω αντικατάστασης παλαιών ενεργοβόρων συσκευών ή ορθολογικότερης χρήσης των ήδη υπαρχουσών μπορούν να εξοικονομηθούν τελικά 30,79 kWh/m²/yr.

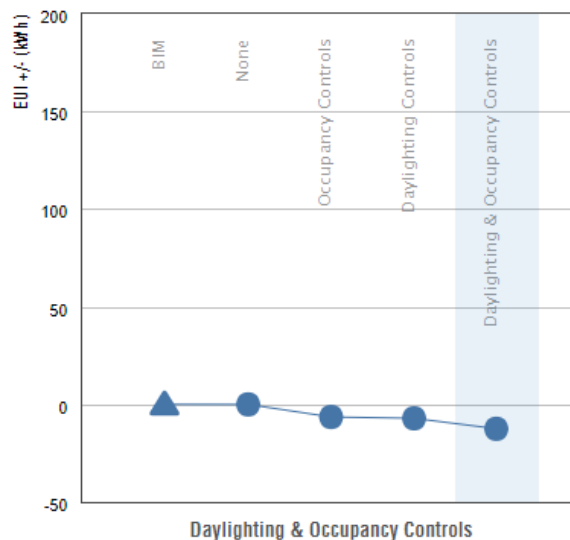
Plug Load Efficiency



11) Daylighting & Occupancy Controls:

Αφορούν συστήματα ανίχνευσης του ημερήσιου φωτός ώστε να εξοικονομείται ενέργεια από τον τεχνητό φωτισμό. Στο Revit είχε γίνει αρχικά αυτόματη επιλογή βάση των προτύπων του, η οποία μεταβλήθηκε και επιλέχθηκε τελικά νέο σύστημα αυτοματισμών και ελέγχων, στα συστήματα φωτισμού, που εξοικονομούν 12,54 kWh/m²/yr.

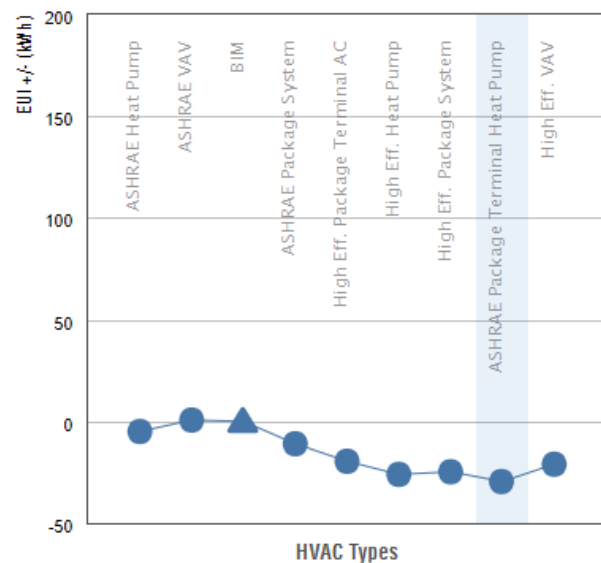
Daylighting & Occupancy Controls



12) HVAC:

Αφορά τα συστήματα θέρμανσης-ψύξης-αερισμού και τα οποία είναι σύμφωνα με τα αμερικάνικα πρότυπα. Η αντικατάσταση του ήδη επιλεγμένου συστήματος Κεντρικής Θέρμανσης με ένα ολοκληρωμένο σύστημα *ASHRAE PACKAGE terminal heat pump* (σύστημα επίγειων κλιματιστικών μονάδων με αντλία θερμότητας για καύση φυσικού αερίου κυρίως και συντελεστή εποχικής απόδοσης θέρμανσης) εξοικονομεί τελικά έως και 29,60 kWh/m²/yr.

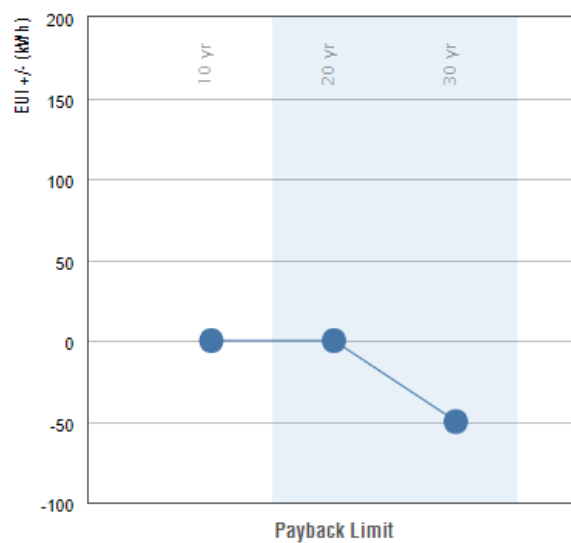
HVAC



13) PV - Payback Limit:

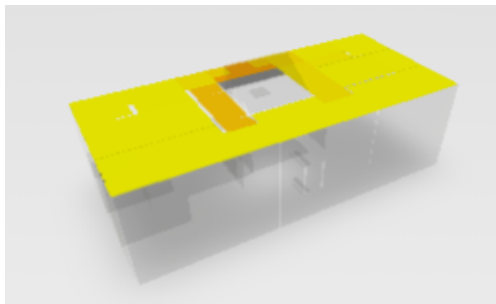
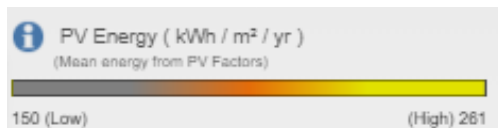
Αφορά τη χρήση περιόδου αποπληρωμής. Στο Σενάριο αυτό επιλέχθηκε περίοδος 20-30 χρόνια.

PV - Payback Limit

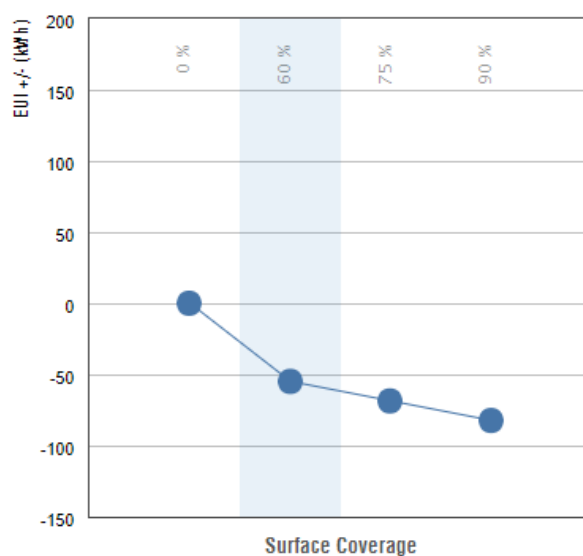


14) PV Surface Coverage:

Αφορά την συνολική επιφάνεια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τοποθέτηση των πάνελ. Μπορούν να εξαιρεθούν επιφάνειες με χαμηλό ηλιακό κέρδος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση έγινε η παραδοχή ότι θα καλύπτεται το 60% της οροφής, καθώς όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα ελάχιστο μέρος της επιφάνειας θεωρείται μη αποδοτικό.



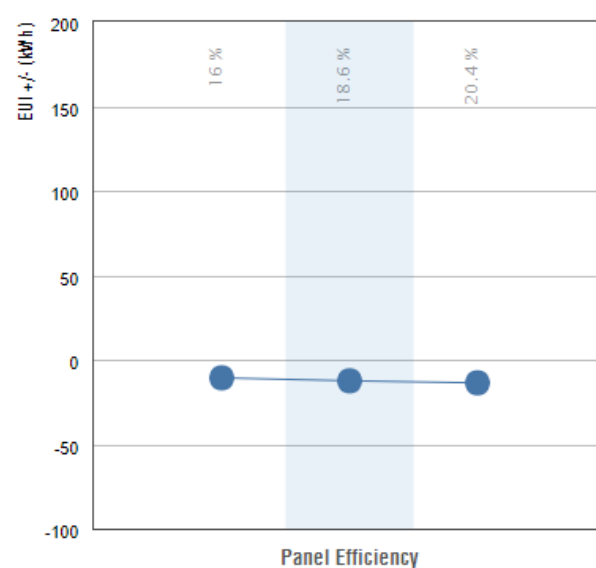
PV - Surface Coverage



15) PV - Panel Efficiency:

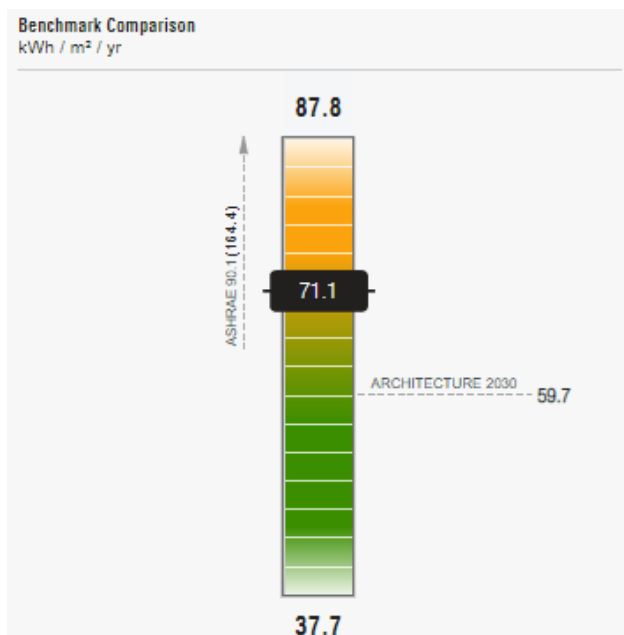
Αφορά στην απόδοση των συστημάτων φωτοβολταϊκών, δηλαδή το ποσοστό ηλιακής ενέργειας που δύναται να μετατραπεί σε ηλεκτρική. Όσο αυξάνεται η απόδοσή τους, αυξάνει και το κόστος του οπότε για συντηρητικούς λόγους πάρθηκε η μέση τιμή του συντελεστή 18,6%, με το οποίο εξοικονομούνται τελικά 12,52 kWh/m²/yr.

PV - Panel Efficiency



(Πηγή: Insight, Autodesk)

Ύστερα από τις παραπάνω επεμβάσεις προέκυψε ένα αναβαθμισμένο ενεργειακά μοντέλο, που ονομάστηκε *Σενάριο 1*. Εφόσον υλοποιηθούν οι προτεινόμενες επεμβάσεις η συνολική ενεργειακή κατανάλωση θα είναι 71,1 kWh/m²/yr, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.16.

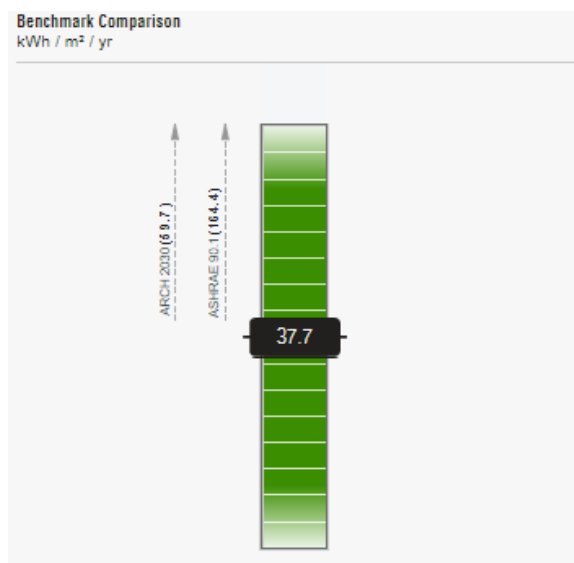


Σχήμα 6.16: Βαθμονόμηση ενεργειακά αναβαθμισμένου μοντέλου
(Πηγή: Insight, Autodesk)

Με σκοπό την επίτευξη ακόμα καλύτερης ενεργειακής απόδοσης, πραγματοποιήθηκε ακόμα ένα σενάριο, όπου αυτή τη φορά ορίστηκε μεγαλύτερο διάστημα απόσβεσης για την τοποθέτηση φωτοβολταϊκών. Έτσι, για την περίπτωση εφαρμογής συστήματος φωτοβολταϊκών:

- με 60% κάλυψη επιφάνειας (αμετάβλητο)
- 18,6% απόδοση πάνελ (αμετάβλητο)
- 30 χρόνια περίοδο αποπληρωμής,

προέκυψε ενεργειακή κατανάλωση 37,7 kWh/m²/yr, δηλαδή σημαντικά μεγαλύτερη μείωση.



Σχήμα 6.17: Βαθμονόμηση ενεργειακά αναβαθμισμένου μοντέλου
(Πηγή: Insight Autodesk)

6.4 Σύγκριση Σεναρίων Ενεργειακής Αναβάθμισης

Μέσω της πλατφόρμας Insight της Autodesk δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας εναλλακτικών σεναρίων για την επίτευξη του βέλτιστου ενεργειακού αποτελέσματος. Στο πλαίσιο αυτό, ύστερα από ανάλυση του Κτιρίου Γραφείων που σχεδιάστηκε, προέκυψαν 2 διαφορετικά σενάρια που φαίνονται στο παρακάτω Σχήμα 6.18.. Πιο αναλυτικά:

Σενάριο 0:

- όπως ορίστηκε ενεργειακά μέσω του Revit της Autodesk, για τύπο κτιρίου «Κτίρια Γραφείων»
- Σύστημα HVAC : κεντρικό σύστημα θέρμανσης-ψύξης-εξαερισμού-παραγωγής ZNX (σύμφωνα με τα αμερικάνικα πρότυπα ASHRAE)
- Χωρίς χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ.

Δείκτης EUI : 175,48kWh/m²/yr

Σενάριο 1:

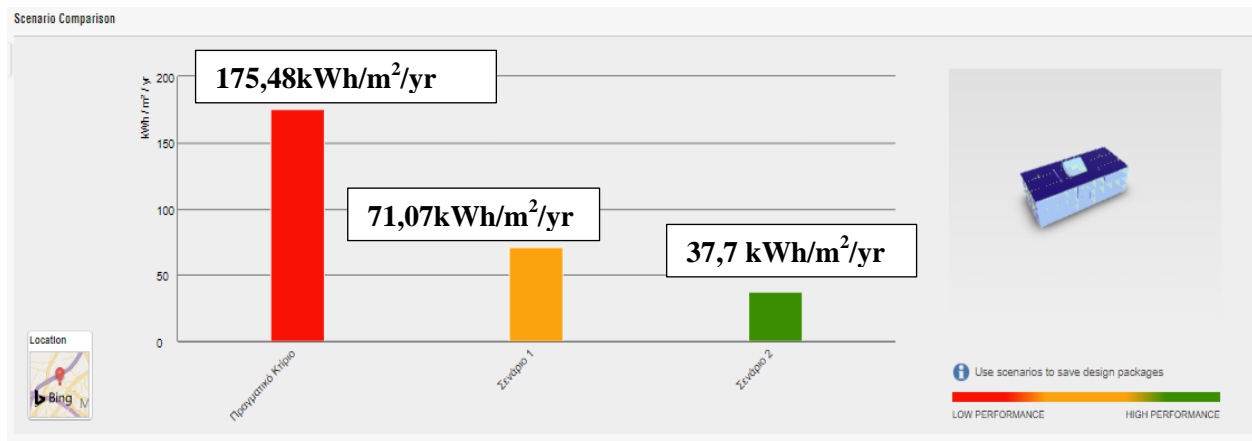
- Επιλογή βέλτιστων ενεργειακών υλικών
- Σύστημα HVAC: ASHRAE PACKAGE terminal heat pump
- Χρήση φωτοβολταϊκών με απόδοση 18,6%, στο 60% της επιφάνειας οροφής και περίοδο απόσβεσης 20-30 χρόνια.

Δείκτης EUI : 71,07 kWh/m²/yr

Σενάριο 2:

- Επιλογή βέλτιστων ενεργειακών υλικών
- Σύστημα HVAC: ASHRAE PACKAGE terminal heat pump
- Χρήση φωτοβολταϊκών με απόδοση 18,6%, στο 60% της επιφάνειας οροφής και περίοδο απόσβεσης 30 χρόνια.

Δείκτης EUI : 37,7 kWh/m²/yr



Σχήμα 6.18: Σύγκριση Πραγματικής Κατάστασης Κτιρίου με Προτεινόμενα Σενάρια Ενεργειακής Αναβάθμισης
(Πηγή: Insight, Autodesk)

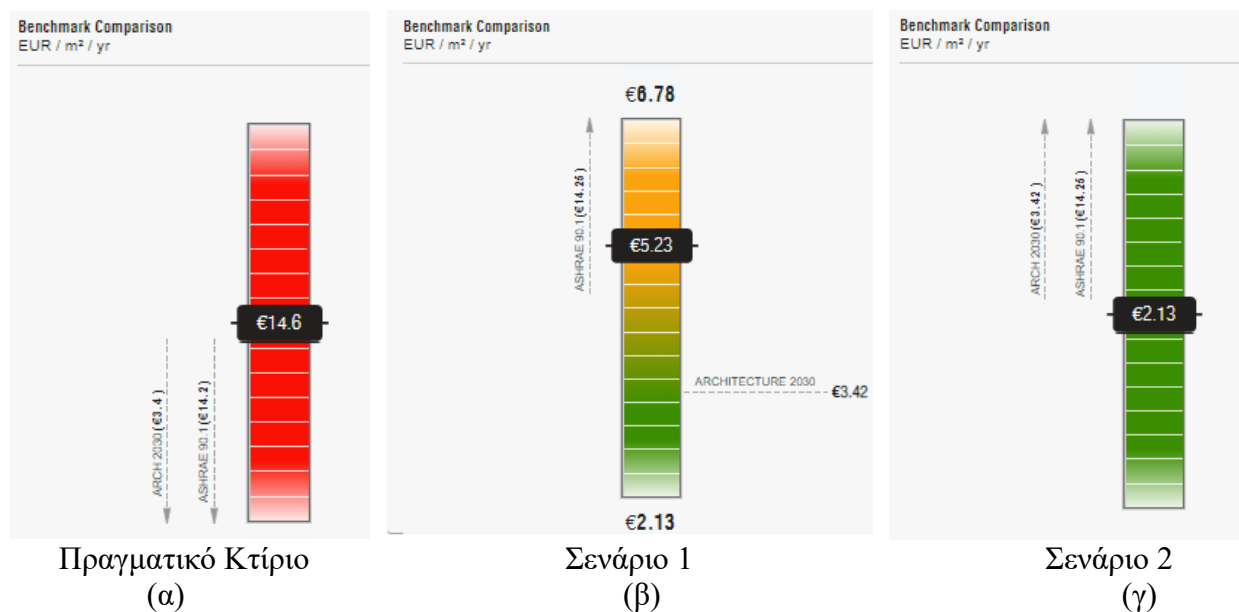
6.5 Ενεργειακό Κόστος

Σε ότι αφορά την Κοστολόγηση, η πλατφόρμα δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού, παράλληλα με τον δείκτη EUI, του ενεργειακού κόστους ανά μονάδα επιφάνειας το χρόνο, ορίζοντας σα παραμέτρους:

- Νομισματική Μονάδα : Ευρώ (€)
- Μέση Τιμή Κιλοβατώρας : 0,093 €/kWh,
- Μέση Τιμή Πετρελαίου : 0,981 €/lit

(Πηγή: <http://www.ypeka.gr>)

Τελικά προκύπτουν οι τιμές που φαίνονται στο παρακάτω Σχήμα 6.19:



Σχήμα 6.19: Ενεργειακού κόστους ανά μονάδα επιφάνειας το χρόνο

Το ετήσιο Ενεργειακό Κόστος τελικά θα είναι:

- **Πραγματικό Κτίριο:** $14,6 \text{ €/m}^2/\text{yr} * 2208 \text{ m}^2 = 32.237 \text{ €/yr}$.
- **Σενάριο 1:** $5,23 \text{ €/m}^2/\text{yr} * 2208 \text{ m}^2 = 11.548 \text{ €/yr}$
- **Σενάριο 2:** $2,13 \text{ €/m}^2/\text{yr} * 2208 \text{ m}^2 = 4.704 \text{ €/yr}$

6.6 Συμπεράσματα Ενεργειακής Ανάλυσης

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας για ενεργειακή ανάλυση του Κτιρίου Γραφείων που σχεδιάστηκε χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία BIM με τη βοήθεια των προγραμμάτων Revit της Autodesk και το Insight 360.

Μετά ενεργειακή ανάλυση του κτιρίου προέκυψε ότι το κτίριο καταναλώνει 175,48 kWh/m²/yr πρωτογενή ενέργεια για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό, με λειτουργικό κόστος 32.234 €/yr, τιμές που το καθιστούν σημαντικά ενεργοβόρο και μη λειτουργικό. Κάνοντας τις κατάλληλες προσεγγίσεις, επιλογές υλικών, συστήματος HVAC και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (φωτοβολταϊκά πάνελ αξιοποίησης ηλιακής ακτινοβολίας) επιτεύχθηκε η μείωση των παραπάνω τιμών ,οπότε για το βέλτιστο ενεργειακό σενάριο προέκυψε ότι η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας θα είναι 37,7 kWh/m²/yr, με λειτουργικό κόστος 4.704 €/yr.

Το σημαντικά μεγάλο λειτουργικό κόστος που προκύπτει για το «Πραγματικό Κτίριο» οφείλεται στην παλαιότητα των χρησιμοποιούμενων ηλεκτρικών συσκευών και συσκευών φωτισμού, αλλά και στο γεγονός ότι δε χρησιμοποιείται σύστημα HVAC που να ικανοποιεί σωστά τις ανάγκες του κτιρίου. Αντίθετα, στις άλλες δύο περιπτώσεις , τα συστήματα είναι τελευταίας τεχνολογίας, μεγάλο μέρος της ενέργειας που απαιτείται παράγεται από τα φωτοβολταϊκά , ενώ τα συστήματα σκίασης εξοικονομούν ενέργεια που θα απαιτούσαν τα συστήματα κλιματισμού σε άλλη περίπτωση.

Συνεπώς μέσω της μεθόδου μπορεί να εξοικονομηθεί το 78,5% πρωτογενούς ενέργειας, με μια σημαντική μείωση του λειτουργικού κόστους του Κτιρίου.

Επισημαίνεται εκ νέου ότι τα δύο λογισμικά βασίζονται στα ενεργειακά πρότυπα «ASHRAE 90.1 & Architecture 2030» και στην Νομοθεσία των Ηνωμένων Πολιτειών και είναι σχεδιασμένα ειδικά για την αμερικάνικη αγορά, οπότε οι ενεργειακές παράμετροι που δόθηκαν κατά την προσομοίωση δεν αντικατοπτρίζουν πλήρως τα πραγματικά δεδομένα με τα οποία σχεδιάστηκε προηγουμένως στο λογισμικό Robot. Έγινε προσπάθεια οι τιμές που ελέχθησαν να συμφωνούν όσο γίνεται στις πραγματικές παραδοχές και επιπλέον να βρίσκονται εντός των ενεργειακών ορίων που θέτει ο Κ.Εν.Α.Κ. Σε κάθε περίπτωση , πάντως λόγω όλων των παραπάνω, τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι προσεγγιστικά και αποτελούν ένα μετρήσιμο δείκτη σύγκρισης για τις ενεργειακές επεμβάσεις και τα αντίκτυπά τους στη κατασκευή.

Στο Παράρτημα παρουσιάζεται η τελική τρισδιάστατη απεικόνιση του Κτιρίου Γραφείων όπως προέκυψε μέσω του λογισμικού Revit , με το φυτεμένο δώμα στην οροφή και τα φωτοβολταϊκά πάνελ που θα έχει. Περιμετρικά από το κτίριο τοποθετήθηκαν φυλλοβόλα δέντρα που βοηθούν στη φυσική σκίαση, την ανάσχεση των ψυχρών βόρειων ανέμων, και τη μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται το κτίριο από το Νότο. Όσον αφορά τα συστήματα Σκίασης στο νότο απαιτούνται οριζόντια σκίαστρα στο σύστημα Υαλοπετάσματος , νότια και δυτικά μπορούν να εφαρμοστούν κατακόρυφα συστήματα αλουμινίου, ενώ στο Βορρά δεν απαιτείται σκίαση λόγω μικρού ηλιακού κέρδους στις επιφάνειες του κτιρίου.

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή έγινε, αρχικά, αναφορά στα ενεργειακά δεδομένα που αφορούν την Ε.Ε. και την Ελλάδα, παρουσιάστηκε η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα και αναφέρθηκαν οι βασικοί μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια ,με στόχο την επίτευξη φιλικότερων προς το περιβάλλον κατασκευών που θα χρησιμοποιούν Ανανεώσιμες Πηγές ενέργειας.

Επιλέχθηκε να σχεδιαστεί ένα υποθετικό Κτίριο Γραφείων στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής για το οποίο έγιναν οι κατάλληλες παραδοχές ως προς τη γεωμετρία και τα υλικά του και σύμφωνα με τις οποίες σχεδιάστηκε στο λογισμικό Robot της Autodesk. Από την ανάλυση και διαστασιολόγησή του στο πρόγραμμα προέκυψαν οι διατομές του, για τις οποίες θα επαρκεί έναντι σεισμού, που είναι και ο κρισιμότερος συνδυασμός.

Στη συνέχεια με την εισαγωγή του μοντέλου στο Revit της Autodesk δόθηκε η δυνατότητα τρισδιάστατης απεικόνισης του μοντέλου και ενεργειακής προσομοίωσής του στην διαδικτυακή πλατφόρμα Insight ώστε να δοθούν εκτιμήσεις πολλαπλών σεναρίων για τις επεμβάσεις που θα μειώσουν τελικά την ενεργειακή του κατανάλωση. Το αρνητικό βέβαια αυτής της πλατφόρμας είναι η παραμετροποίηση της στα αμερικάνικα πρότυπα, οπότε η τελική ενεργειακή ανάλυση που έγινε, καθώς και οι επεμβάσεις πάνω σε αυτή, είναι ενδεικτικές αναλύσεις που τα αποτελέσματά τους δεν αποτελούν το πραγματικό ενεργειακό αποτύπωμα του κτιρίου. Βοηθούν, βέβαια, να δοθεί μια κατεύθυνση ως προς την αποδοτικότητά του κτιρίου, αλλά και τους τρόπους με τους οποίους μεταβάλλεται ο ενεργειακός δείκτης με τις εκάστοτε επεμβάσεις.

Σε ότι αφορά τα Ελληνικά Δεδομένα και τους τρόπους με τους οποίους το κτίριο μπορεί να εναρμονιστεί με αυτά, η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πάνελ στην οροφή, όπως προέκυψε στα σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης που έγιναν, αποτελεί μια λύση εφαρμόσιμη και αποδεκτή. Επιπλέον η χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που θα εκμεταλλεύονται τη θερμοκρασία της γης, αποτελεί μια πολύ καλή επιλογή σε συνδυασμό με τα φωτοβολταϊκά και διατίθενται στη ελληνική αγορά πολλές καλές επιλογές αντίστοιχων αντλιών και συστημάτων ολοκληρωμένης θέρμανσης-ψύξης-εξαερισμού-παραγωγής ΖΝΧ.

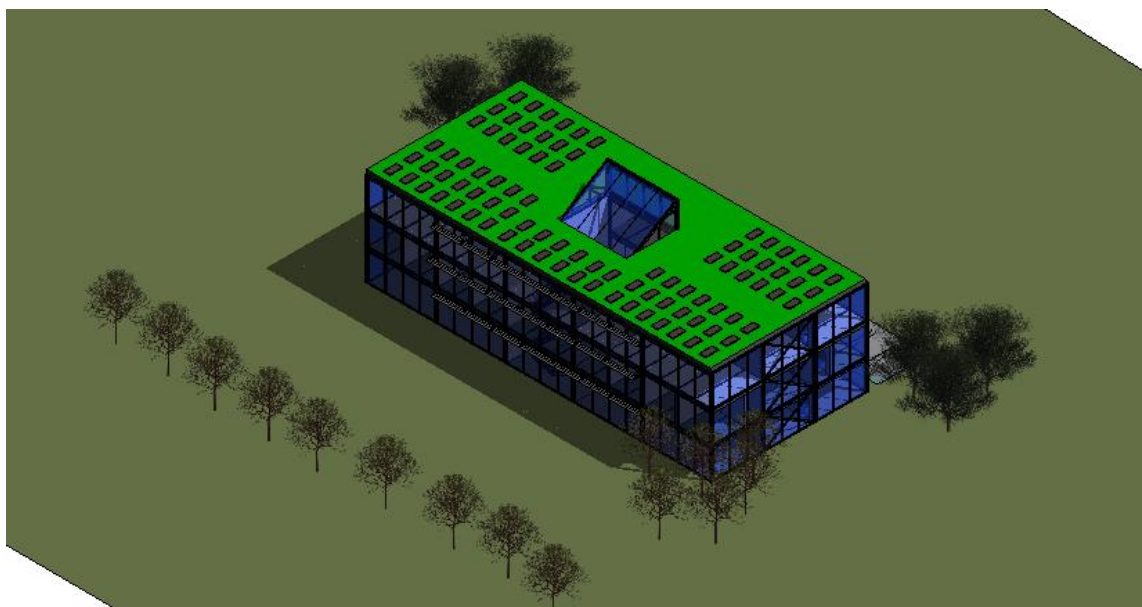
Σε κάθε περίπτωση, σημαντικός παράγοντας για την αειφορία του κτιρίου και γενικότερα την ενεργειακή λειτουργία του είναι ο άνθρωπος, δηλαδή η ενεργειακά αποδοτική συμπεριφορά των χρηστών του. Ειδικά στη σημερινή εποχή, ο άνθρωπος οφείλει να βοηθά με τις πράξεις του και την ενσυνειδησία του ως προς θέματα ορθολογικής χρήσης και διαχείρισης της ενέργειας. Μέσω προγραμμάτων ανακύκλωσης, ενημέρωσης σωστής χρήσης των μονάδων που υπάρχουν στο κτίριο και εκμάθησης της χρήσης συστημάτων ελέγχου για υλοποίηση αυτοματισμών, θα επιτευχτεί όχι μόνο η στροφή σε ενεργειακά κτίρια, αλλά και σε μια γενικότερη συμπεριφορά και νοοτροπία με περισσότερα ενεργειακά οφέλη για το μέλλον.

8 Βιβλιογραφία

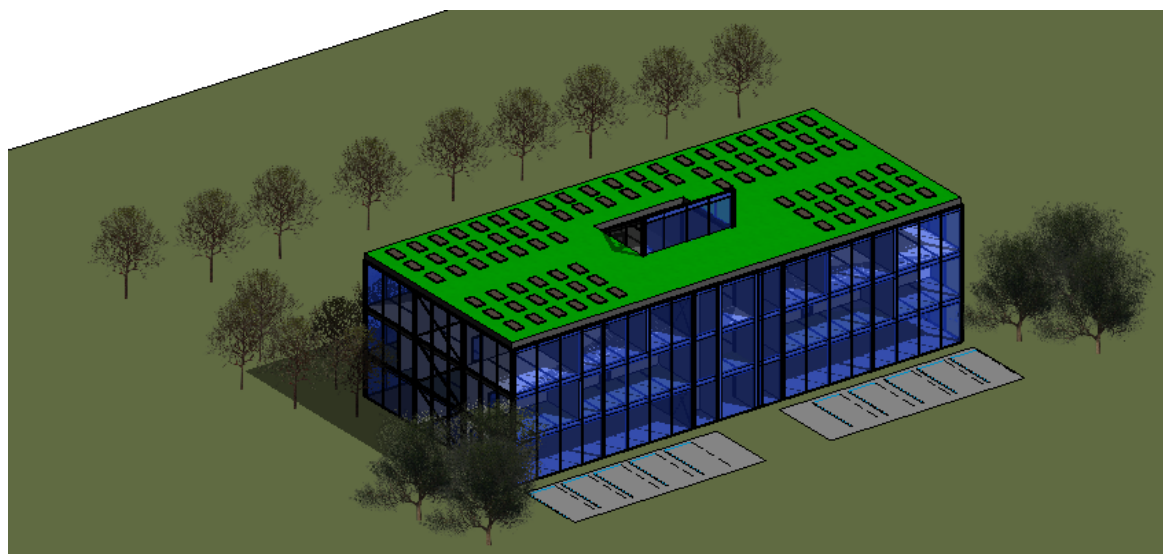
1. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. (2004). «Σιδηρές κατασκευές, παραδείγματα εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3, Τόμος ΙΙ». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
2. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. (2005α). «Σχεδιασμός δομικών έργων από χάλυβα, 2η έκδοση», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
3. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ., (2005β). «Σιδηρές κατασκευές, παραδείγματα εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3, Τόμος Ι». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
4. Βάγιας Ι. (2010). «Σύμμικτες κατασκευές από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα, 3η έκδοση», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
5. Έλαστρον Α.Ε.Β.Ε. – «Τεχνικό εγχειρίδιο χαλυβδόφυλλου Symdeck 73» (www.elastron.gr)
6. Έλαστρον Α.Ε.Β.Ε. – «Εγχειρίδιο χρήσης SymDeck Designer».
7. Εθνικό Τυπογραφείο, Εφημερίδα της κυβερνήσεως, Αρ. Φύλλου 3004 /31-12-2015, “Έγκριση έκθεσης μακροπρόθεσμης στρατηγικής για την κινητοποίηση επενδύσεων για την ανακαίνιση του εθνικού κτιριακού αποθέματος”.
8. Ευάγγελος Ποιμενίδης, «Μεταλλικά Κτίρια Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας», Αθήνα 2018
9. Υπουργείο Ενέργειας και Περιβάλλοντος, Στατιστικά αποτελέσματα ενεργειακής απόδοσης κτιρίων. [Online] Available: <http://www.ypeka.gr>.
10. ΚΑΠΕ and CRES, Εφαρμόζοντας τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες στην Ελλάδα, Energy HUB for All. [Online] Available: <http://www.cres.gr/energyhubforall/2.4.html>.
11. Κατσιμίχα Παναγιώτα, «Μελέτη δεκαώροφης πολυτελούς ξενοδοχειακής μονάδας», Αθήνα 2017
12. ΤΕΕ, “ΤΟΤΕΕ-20701-1-/2010, "Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης”.
13. Εθνικό Τυπογραφείο, Εφημερίδα της κυβερνήσεως, Αρ. φύλλου 407/9-4-2010, “Έγκριση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων”.
14. Εθνικό Τυπογραφείο Εφημερίδα της κυβερνήσεως, Αρ. φύλλου 79/9-4-2002, “Νόμος 4067, Νέος Οικοδομικός Κανονισμός”.
15. Εθνικό Τυπογραφείο, Εφημερίδα της κυβερνήσεως, Αρ. Φύλλου 42/ 19 - 2013, “Νόμος υπ' αριθμ. 4122, "Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων - Εναρμόνιση με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου”.
16. Πράσινα Δώματα, «Συστήματα Υποδομής Πράσινων Δωμάτων». [Online] Available: <https://www.egreen.gr>.
17. Alamil: Building excellence every day (<https://www.alumil>).
18. ArcelorMittal, STEEL BUILDINGS IN EUROPE “Multi-Storey Steel Buildings Part 2: Concept Design”, [Online] Available: <https://sections.arcelormittal.com>
19. Autodesk, “Revit Architecture 2011 User's Guide”, 2010.
20. EN1990, Eurocode 0: «Basis of structural design», CEN, 2002
21. EN1991-1-1, Eurocode 1: «Actions on structures, Part 1-1: General actions», CEN, 2004
22. EN1991-1-2, Eurocode 1: «Actions on structures, Part 1-3: Fire Loads», CEN, 2004
23. EN1991-1-3, Eurocode 1: «Actions on structures, Part 1-3: Snow loads», CEN, 2004
24. EN1991-1-4, Eurocode 1: «Actions on structures, Part 1-4: Wind actions», CEN, 2004
25. EN1992-4-1, Eurocode 2: «Design of fastenings for use in concrete, General»
26. EN1992-4-2, Eurocode 2: «Design of fastenings for use in concrete, Headed Fasteners»

27. EN1993-1-1, Eurocode 3: «Design of steel structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings», CEN, 2005
28. EN1993-1-2, Eurocode 3: «Design of steel structures, Part 1-2: Structural Fire Design»
29. EN1993-1-8, Eurocode 3: «Design of steel structures, Part 1-8: Design of joints», CEN, 2005
30. EN1993-1-13, Eurocode 3: “Steel beams with large web openings”, working draft March 2016.
31. EN1994-1-1, Eurocode 4: «Design of composite steel and concrete structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings», CEN, 2004
32. EN1998-1, Eurocode 8: «Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings», CEN, 2004
33. EU Building Stock Observatory - Energy - European Commission (Energ/dg/unit4). [Online] Available: <https://ec.europa.eu/energy/en/eubuildings>.
34. <https://www.daikin.gr>
35. <http://www.zeb.gr>
36. <http://www.panelco.gr>

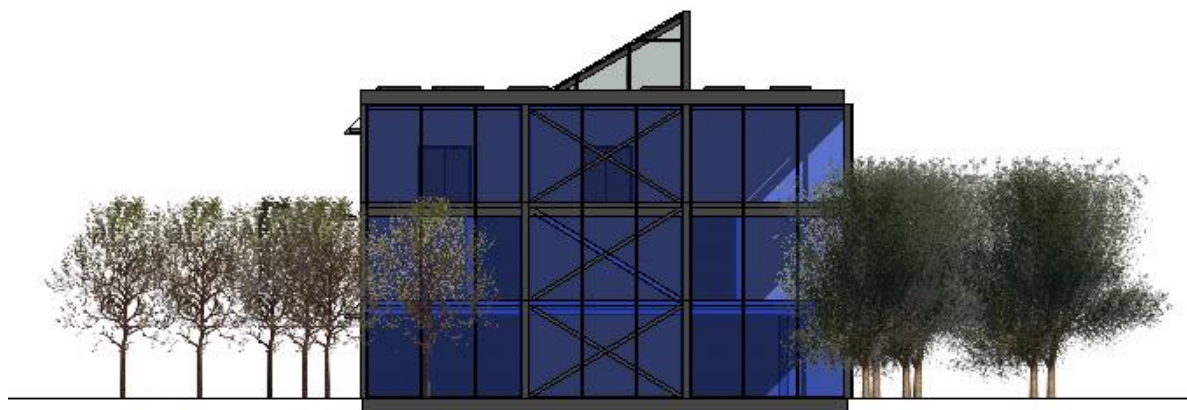
Παράρτημα Όψεις Κτιρίου Γραφείων



Α.6.6.: Νοτιοανατολική Τρισδιάστατη Όψη Κτιρίου Γραφείων



Α.6.6.: Βορειοανατολική Τρισδιάστατη Όψη Κτιρίου Γραφείων



Α.6.6.: Ανατολική Όψη Κτιρίου Γραφείων



Α.6.6.: Νότια Όψη Κτιρίου Γραφείων